



RAPPORT

Stasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal

SKREDFAREVURDERING FOR
TRANSFORMATORSTASJON REFSDAL
FREM TIL BP1

DOK.NR. 20210463-07-R
REV.NR. 1 / 2023-03-01

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Prosjekt

Prosjekttittel: Stasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal
Dokumenttittel: Skredfarevurdering for transformatorstasjon Refsdal frem til BP1
Dokumentnr.: 20210463-07-R
Dato: 2022-12-09
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2023-03-01

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Statnett
Kontaktperson: Dan Pedersen
Kontraktreferanse: IO751002

for NGI

Prosjektleder: Vidar Kveldsvik
Utarbeidet av: Vidar Kveldsvik, Peter Gauer, Håkon Heyerdahl, Øyvind A Høydal, Heidi Hefre, Elise Morken, Ulrik Domaas
Kontrollert av: Frode Sandersen

Forord

Plan- og bygningsloven (pbl) og Byggteknisk forskrift (TEK 17, kap. 7.3) stiller krav til sikkerhet mot naturfare. For reguleringsplan og byggesak/-tiltak, søknadspliktig eller ikke, må det derfor dokumenteres at tilstrekkelig sikkerhet mot skredfare vil bli oppnådd i henhold til disse sikkerhetskravene.

Denne utredningen er utført av fagkyndig personell og følger NVEs veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak¹, og vil dermed kunne dokumentere om sikkerhetskravene er oppfylt. Skredfarevurderingen er utført basert på dagens vegetasjonsforhold.

Skredtypene snø-, jord-, flom-, sørpe-, steinskred og steinsprang utredes.

Om oppdraget

Oppdragsgiver: Statnett

Utførende foretak: NGI

Skredfareutredning for del/deler av eiendommen med gårdsnummer: Vik kommune, 21 bruksnummer 2 og 23 (spesifisert i kartutsnitt)

Følgende tiltak og sikkerhetsklasse(r) er planlagt på eiendommen/planområdet: S3

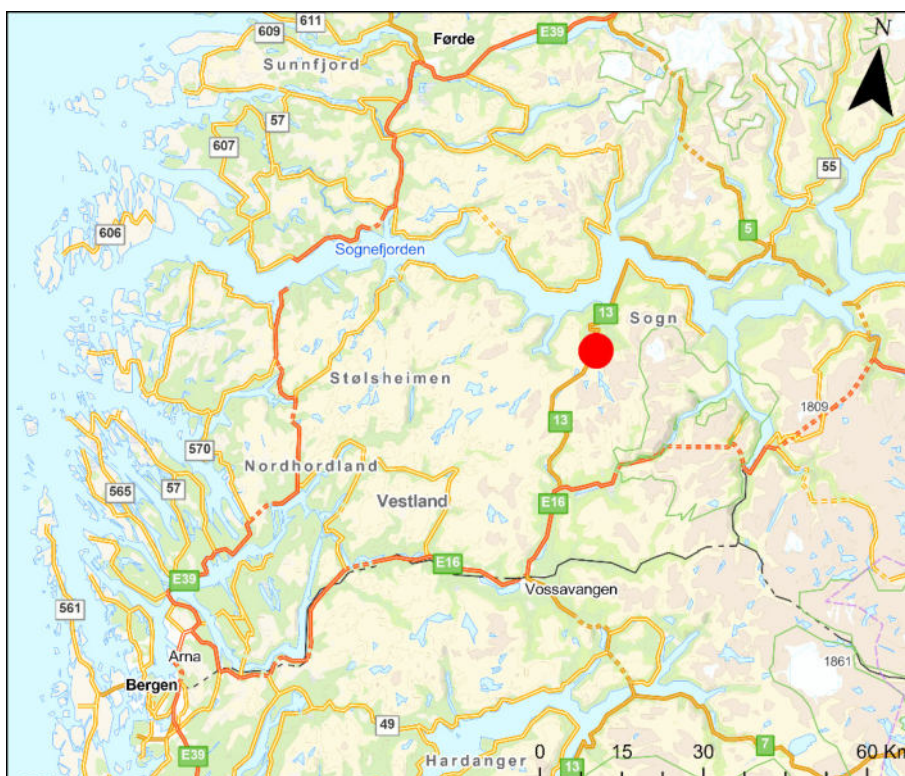
Befaring gjennomført: Vidar Kveldsvik (NGI) 29.07.2021 bakkebefaring. Peter Gauer og Heidi Hefre (NGI) 2022-05-31 med bruk av helikopter og bakkebefaring. Ulrik Domaas og Elise Morken (NGI) 07.11.2022 bakkebefaring.

¹ <https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng>

Sammendrag

I forbindelse med oppgradering av spenningen i nettet i Kollsnes – Steinsland – Modalen og Refsdal stasjoner til 420 kV er det planlagt å oppgradere eller bygge nye transformatorstasjoner i disse områdene. I den anledning har Statnett bedt NGI om å avklare fare fra skred i bratt terreng for Refsdal stasjon i forhold til sikkerhetsklasse S3 (Figur 1).

Denne rapporten er en sammenstilling av tre tidligere rapporter samt nye vurderinger for deler av området. Rapporten sammenstiller skredvurderinger for begge kartleggingsområdene i Refsdal (Alternativ Nord og Alternativ Sør). Alternativ Nord inkluderer området nordvest for elva Vikja samt dagens koplingsstasjon og er vurdert i NGI-rapport 20210463-04-R fra 18.02.2022 (NGI, 2022a) og i NGI-rapport 20210463-06-R fra 08.07.2022 (NGI, 2022c). For området nordvest for elva Vikja er det også utført grunnundersøkelser (Multiconsult, 2021). Kartleggingsområdet sør for Alternativ Nord, Alternativ Sør, er vurdert i NGI-rapport 20210463-05-R fra 18.03.2022 (NGI, 2022b) samt utredet videre i denne rapporten.



Figur 1 Oversiktskart som viser Refsdal stasjon i Vik kommune er markert med rød sirkel.

Hovedfunn

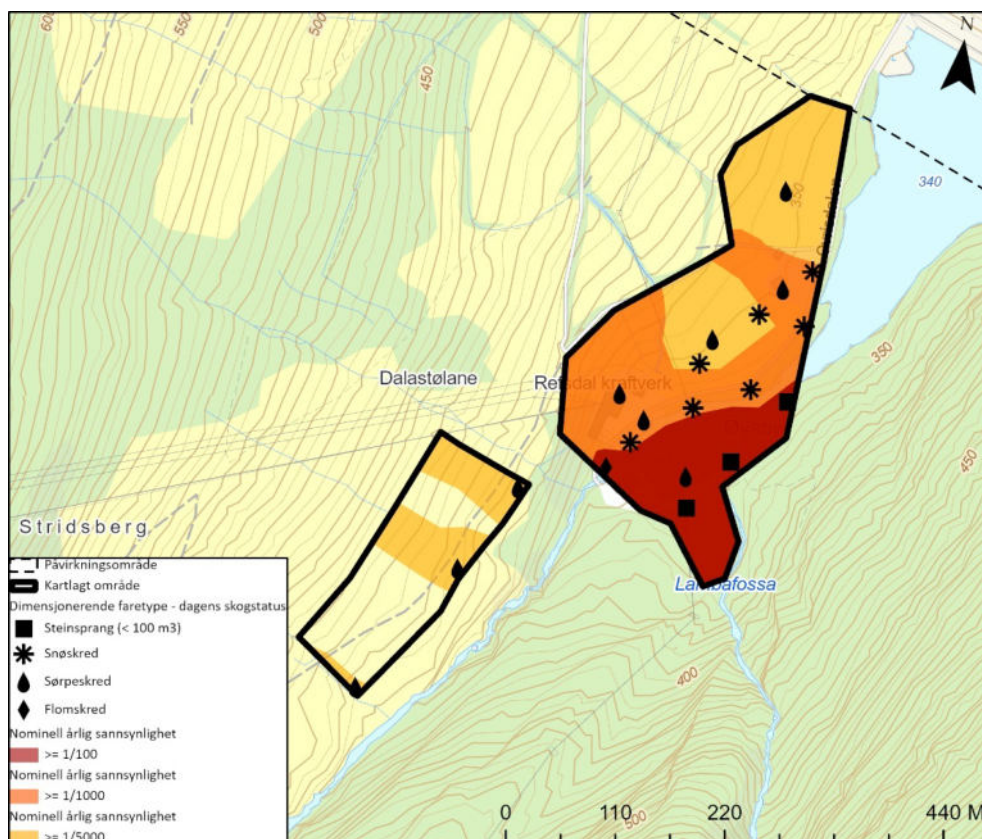
Kartleggingsområdet Alternativ Nord ved Refsdal transformatorstasjon, Vik kommune, er vurdert til å befinne seg innenfor faresone 1/100 med anslått årlig sannsynlighet større enn 1/100 samlet for flom-/sørpeskred og steinsprang fra sørøstlig fjellside. Snøskred vurderes å kunne ramme området med en nominell årlig sannsynlighet større enn 1/1000 fra øst. Faren for at jordskred kan nå Alternativ Nord fra øst vurderes å være i størrelsesorden 1/5000. Snøskred og sørpeskred er dimensjonerende for faresonene 1/1000 og 1/5000.

Kartleggingsområdet Alternativ Sør, sør for Alternativ Nord, er vurdert til å befinne seg innenfor faresone med anslått årlig sannsynlighet større enn 1/5000 samlet for flom- og sørpeskred. Sørpeskred er dimensjonerende faretyper for årlig sannsynlighet 1/5000 fra vestlig fjellside.

Tabell 1 og Figur 2 gir en oversikt over faresonene i kartleggingsområdene.

Tabell 1 Oversikt over faresoner som påvirker kartleggingsområdene.

Kartleggingsområder	Faresoner som påvirker kartleggingsområdet		
	1/100	1/1000	1/5000
Alternativ Nord (A)		x	x
Alternativ Nord (B)	x	x	x
Alternativ Sør			x



Figur 2 Faresoner med dimensjonerende skredtyper for samtlige aktuelle skredtyper.

Flomsoner, samt videre vurdering av faren for fjellskred, er ikke inkludert i denne rapporten.

Dagens forhold tilfredsstillende ikke sikkerhetsklasse S3, S2 eller S1.

Sikring av området med sikkerhetsmål S3 er utfordrende.

1	Innledning	9
1.1	Sikkerhetsklasse for skred	10
1.2	Metodikk	10
1.3	Forbehold	13
2	Bakgrunn og grunnlagsmateriale	14
2.1	Topografi, grunnforhold, vegetasjon og klima	14
2.2	Tidligere utredninger / kartlegginger i området	46
2.3	Historiske skredhendelser	46
2.4	Eksisterende sikringstiltak	47
2.5	Eksisterende aktsomhetskart	47
3	Skredfarevurdering	51
3.1	Steinsprang	51
3.2	Steinskred	65
3.3	Snøskred	68
3.4	Jordskred	79
3.5	Flomskred	84
3.6	Sørpeskred	89
3.7	Hva er den samlede skredfaren?	98
3.8	Avvik fra tidligere skredfareutredninger	101
3.9	Stedsspesifikk usikkerhet	102
4	Konklusjon	103
5	Referanser	104

Vedlegg A	Metode for fastsetting av faresoner
Vedlegg B	Modellbeskrivelse
Vedlegg C	Modelleringskart
Vedlegg D	Egenerklæringsskjema
Vedlegg E	Registreringskart
Vedlegg F	Faresonekart
Vedlegg G	Helningskart, dreneringskart
Vedlegg H	Skog med betydning for skredfaren
Vedlegg I	UAK

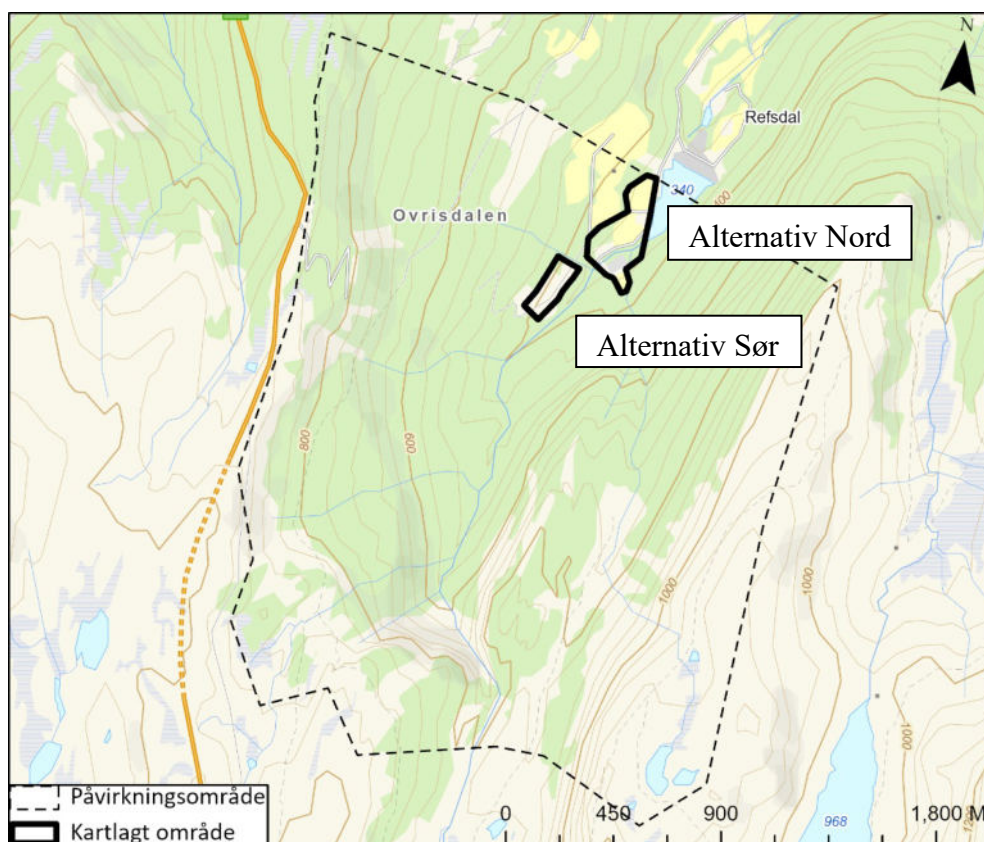
\\xfil1\prodata\$2021\04\20210463\delivery-result\reports\20210463-07-r refsda\rev.1\20210463-07-r rev01 skredfarevurd transformatorstasjon refsda.docx

1 Innledning

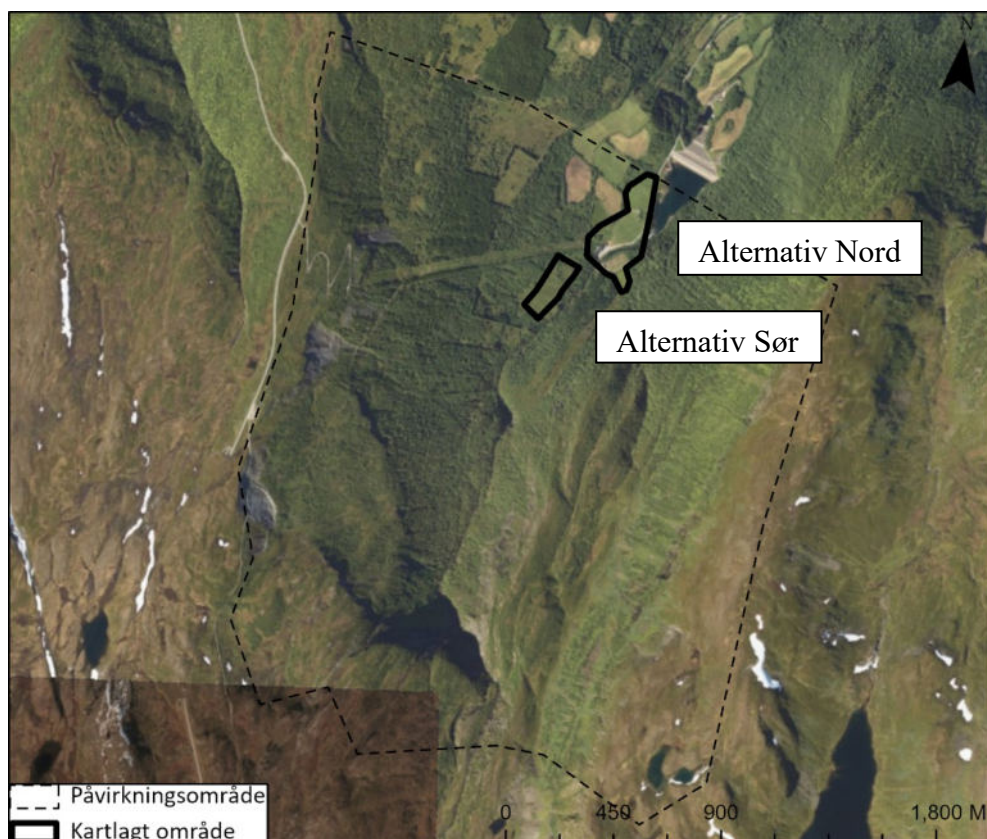
I forbindelse med oppgradering av spenningen i nettet i Kollsnes – Steinsland – Modalen og Refsdal stasjoner til 420 kV er det planlagt å oppgradere eller bygge nye transformatorstasjoner i disse områdene. I den anledning har Statnett bedt NGI om å avklare fare fra skred i bratt terreng for Refsdal stasjon i forhold til sikkerhetsklasse S3. Figur 1-1 og Figur 1-2 viser oversikt over området.

Denne rapporten er en sammenstilling av tre tidligere rapporter samt nye vurderinger for deler av området. Rapporten sammenstiller skredvurderinger for begge kartleggingsområdene i Refsdal (Alternativ Nord og Alternativ Sør). Alternativ Nord inkluderer området nordvest for elva Vikja samt dagens koplingsstasjon og er vurdert i NGI-rapport 20210463-04-R fra 18.02.2022 (NGI, 2022a) og i NGI-rapport 20210463-06-R fra 08.07.2022 (NGI, 2022c). For området nordvest for elva Vikja er det også utført grunnundersøkelser (Multiconsult, 2021). Kartleggingsområdet sør for Alternativ Nord, Alternativ Sør, er vurdert i NGI-rapport 20210463-05-R fra 18.03.2022 (NGI, 2022b) samt utredet videre i denne rapporten.

Egenerklæringsskjema er gitt i Vedlegg D.



Figur 1-1 Oversiktskart over kartlagte områder med tilhørende påvirkningsområde.



Figur 1-2 Flybilde som viser kartlagte områder med tilhørende påvirkningsområde.

1.1 Sikkerhetsklasse for skred

Statnett har opplyst at nominell årlig sannsynlighet for skred som når inn i planlagt mulig utbyggingsområde ikke skal være større enn 1/5000. Det tilsvarer sikkerhetsklasse S3 i TEK17.

1.2 Metodikk

Denne utredningen følger NVEs veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng – Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak. Skredtypene snø-, jord-, flom-, sørpe-, steinsprang og steinskred er utredet. Utredning av faresoner for kvikkeleireskred og fjellskred er ikke en del av denne kartleggingen.

Kartleggingen er basert på feltbefaringer, modelleringsarbeid og skredfaglige vurderinger som tar i betraktning lokale forhold (Vedlegg A). Skredfare skyldes generelt en kombinasjon av forskjellige påvirkende parametere, for eksempel:

- Terreng (helning, eksponering, ...)
- Grunnforhold
- Vegetasjon (bunndekke, tetthet av skog, ...)
- Nedbør (frekvens, mengde, snø eller regn, ...)

- Vindens innflytelse (drivsnøavlagring, intensitet av pålagring, eller skavl-oppbygning)
- Snødekkeegenskaper (maritimt - kontinentalt klima, mulighet for dannelse av svake lag...)
- Utløpslengde for skred eller steinsprang
- Osv.

Alle disse parameterne har en variasjon som kan beskrives av sannsynlighetsfordelinger. En vanlig forenkling for å kvantifisere skredfare H på et bestemt sted er tilnærmingen:

$$H = P_R \cdot P_s \quad (1)$$

der P_R betegner årlige utløsningssannsynlighet (frekvensen av et skred med en viss størrelse) og P_s betegner sannsynligheten for at skredet også når et bestemt punkt. Dette betyr at den nominelle årlige skredsannsynligheten skyldes en kombinasjon av hendelser (dvs. skredscenarier). Høyere ønsket sikkerhetsnivå (minkende nominell årlig sannsynlighet), betinger at mer uvanlige scenarier må vurderes. Resulterende dimensjonerende skred vil da også bli større og/eller få lengre utløp.

Dette betyr også at utløsningssannsynlighet ikke er det samme som treffsannsynlighet.

Metodikken for å bestemme skredfaresoner omfatter til dels kvalitative kunnskapsbaserte vurderinger i tillegg til kvantitative beregningsmetoder og kan generelt ikke oppfattes som endelige, men kan bli endret i lys av nye opplysninger og kunnskap. Farevurderingen er basert på en vekting av tilgjengelig eller ikke-eksisterende informasjon.

I områder som kan utsettes for flere typer skred er det den samlede nominelle årlige sannsynligheten for skred som skal legges til grunn. Faresoner for den samlede skredfaren fastsettes ut fra skredtype med lengst skredrekkevidde (dimensjonerende skredtype) for henholdsvis 100-, 1000-, og 5000-årsskred, og er utarbeidet i henhold til sikkerhetskravene i TEK17. Generelt har alle faresoner en iboende usikkerhet. En kort diskusjon av usikkerhet som kan relateres til faresoner finnes i Gauer & Kristensen (2022).

1.2.1 Kartlegging av historiske skredhendelser

En viktig basis for faresonekartlegging er å skaffe seg oversikt over tidligere skredhendelser. Dette er nyttig informasjon for å vurdere frekvens og hvor lang rekkevidde skred kan oppnå.

Følgende kilder er benyttet ved kartlegging av tidligere skredhendelser:

- NVEs nasjonale skredatabase
- Tidligere skredrapporter fra området
- Observasjoner fra befaring og flybildestudier

1.2.2 Digitale terrengmodeller (DTM)

Som grunnlag for terrenganalyser i denne rapporten er det benyttet LiDAR-basert terrengmodell kartlagt mellom 2017 og 2021 med 1x1 m oppløsning (hoydedata.no). Punkttettheten er 2 pkt/m². Helning og skyggekart er generert på bakgrunn fra terrengmodellen, og benyttet i videre analyser. I noen tilfeller ble det også brukt re-sampled data for å jevne ut terrenget, noe som bedre tilsvare vinterlige forhold. Disse dataene ble re-samlet fra 1x1 m oppløsning til 5x5 m oppløsning.

Helningskart benyttes til å identifisere mulige kildeområder for ulike skredtyper, ettersom snøskred gjerne løsner fra terrenghelninger fra 25 til 55°, steinsprang og steinskred fra helninger >45°. For jordskred vurderes alle skråninger med helning >20°, og for flomskred bekkeløp med helning >15°.

Terrengmodellen er også benyttet som grunnlag for kjøring av beregningsmodeller.

1.2.3 Andre datakilder benyttet i vurderingen

I tillegg til analyser av detaljert terrengmodell, observasjoner fra befaring og historiske skredhendelser, er følgende andre datakilder benyttet i skredfarevurderingen:

- Serier av historiske flyfoto
- Løsmassekart (1:20000 til 1:250 000) og berggrunnskart (1:50 000 eller 1:250 000)
- NVEs database for potensielt ustabile fjellparti
 - Nær kartleggingsområdene finnes Ovriege/Gluvrene (2.5 km nord)
 - Bergart Fyllitt, glimmerskifer
 - Volum 0.38 millioner m³
 - Fallhøyde 650 m
 - Bevegelseshastighet mellom 1-4 cm/år
- Nasjonale kart over permafrostutbredelse
- Aktsomhetskart for snøskred, steinsprang, jord- og flomskred,
- Skogsdata: AR50, SR16 og SAT-SKOG fra NIBIO

1.2.4 Bruk av modeller

Beregningsmodeller er et viktig supplement når endelig utstrekning av faregrensene skal bestemmes. Viktigste kilde til fastsettelse av faregrenser vil være faglig skjønn basert på erfaring og observasjoner gjort under befaringen og opplysninger om tidligere skredhendelser. Modellkjøringer vil være et hjelpemiddel for å vurdere om det er behov for justering av grensene.

Valgte modeller er anerkjent internasjonalt, og det er modeller vi har lang erfaring med å bruke ifm. rådgivnings- og forskningsprosjekter.

Benyttede modeller er angitt i Tabell 1-1. Nærmere beskrivelse av modellene er gitt i Vedlegg B. Beregningsparametere og resultat for modellkjøringer er beskrevet under kapittel for hvert delområde og hver skredtype.

Tabell 1-1 Oversikt over modellverktøy anvendt for skredsimuleringer i denne rapporten.

Skredtype	Dynamiske modeller	Topografiske/statistiske modeller
Snøskred	SamosAT tilpasset	Alfa-Betamodellen
	(RAMM::AVALANCHE)	
Steinsprang	Rockyfor3D	Forhold mellom maks. utløp og løsnepunkt, topp av ur og høyde av fjellside
Flomskred	RAMMS::DEBRISFLOW tilpasset flomskred	
Sørpeskred	SAMOS-solver tilpasset sørpeskred	
	RAMMS::DEBRISFLOW tilpasset sørpeskred	

1.3 Forbehold

Vurderingen er gjort på bakgrunn av dagens terreng- og vegetasjonsforhold. Klimaendringer og menneskelige inngrep i terreng og vegetasjon i det tilgrensende området til planområdet, for eksempel etablering av skogsveg, snauhogst og skogplanting, kan endre forutsetningene for vurderingene. Dette gjelder særlig i områder brattere enn 30°.

Metodikken for å bestemme skredfaresoner omfatter til dels kvalitative vurderinger i tillegg til kvantitative beregningsmetoder og kan generelt ikke oppfattes som endelige, men kan bli endret i lys av nye opplysninger og kunnskap.

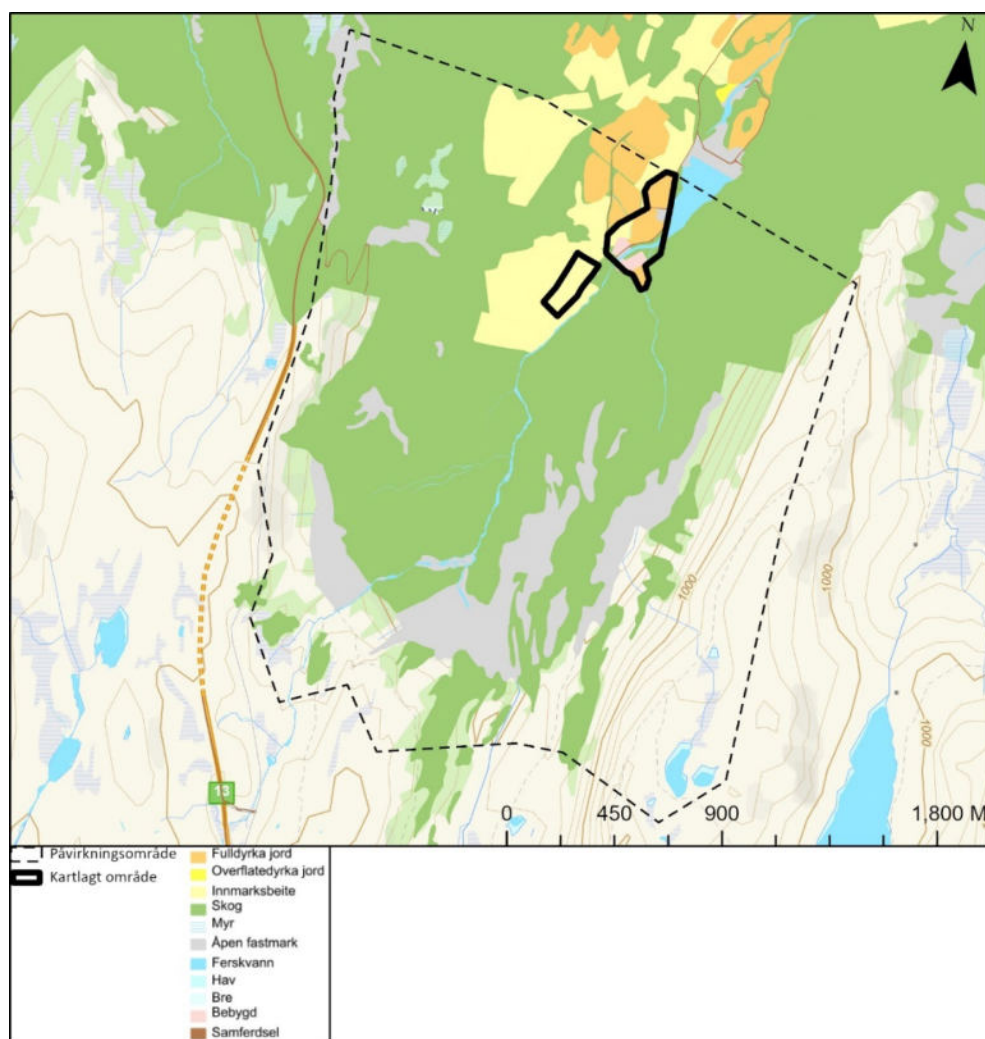
2 Bakgrunn og grunnlagsmateriale

2.1 Topografi, grunnforhold, vegetasjon og klima

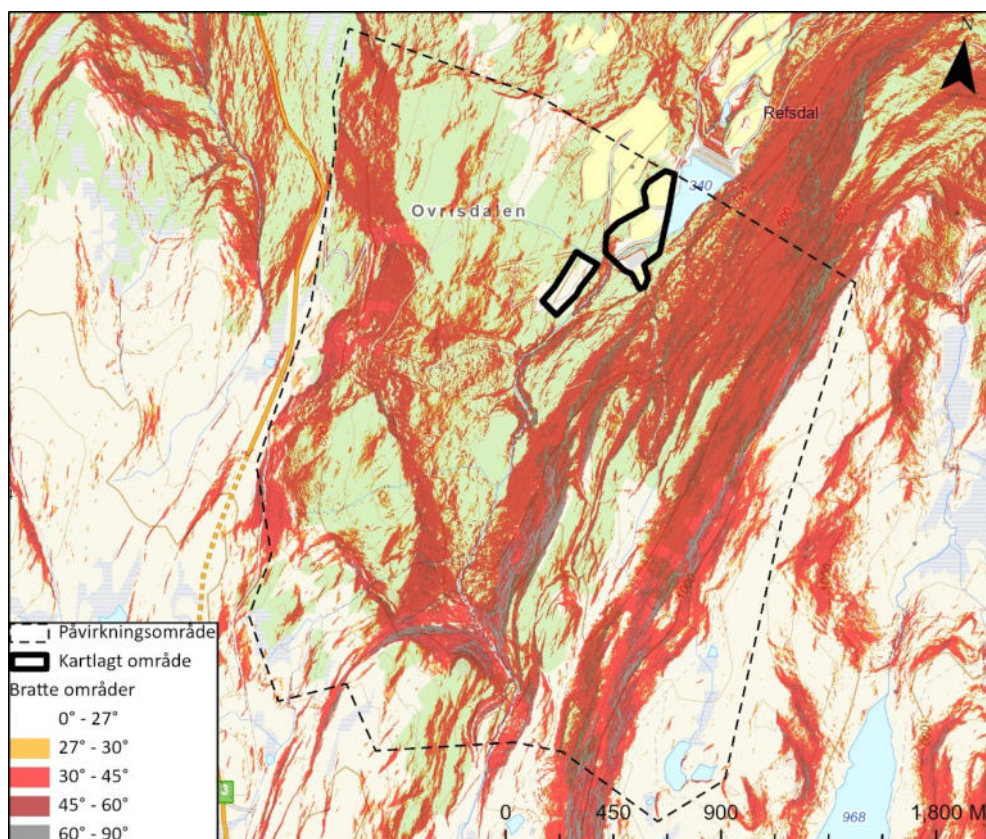
Relevante kartlag, samt helikopter for deler av Alternativ Nord, er brukt som hjelpemiddel for å kartlegge terreng- og vegetasjonsforholdene i de øvre delene av fjellsidene da befaring til fots kun er utført for de nedre delene. Registreringskart med registreringer fra befaring er vedlagt i Vedlegg E.

2.1.1 Terreng og dreneringsforhold

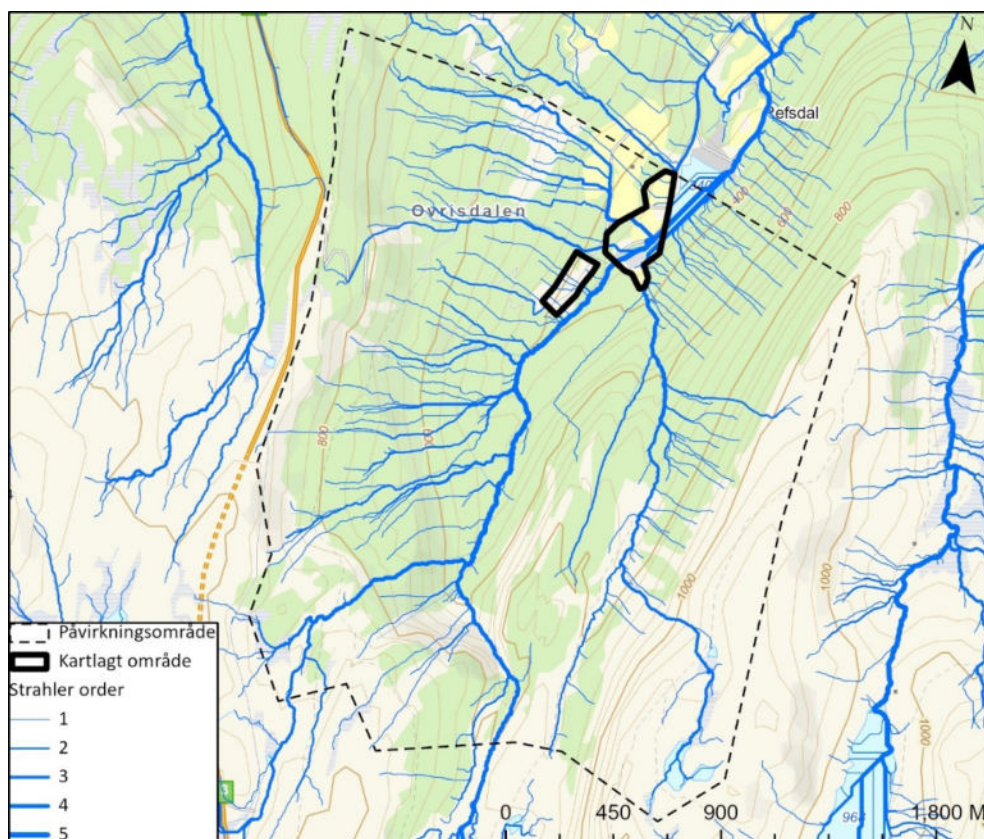
Arealtype, terrenghelning og dreneringsløp for de kartlagte områdene er vist i Figur 2-1, Figur 2-2 og Figur 2-3. Kartleggingsområdene består hovedsakelig av dyrket jord eller innmarksbeiter, mens påvirkningsområdet består av skog, åpen fastmark eller bart fjell.



Figur 2-1 Oversikt over arealtyper i kartleggingsområdene og tilhørende påvirkningsområde (NIBIO, 2016).



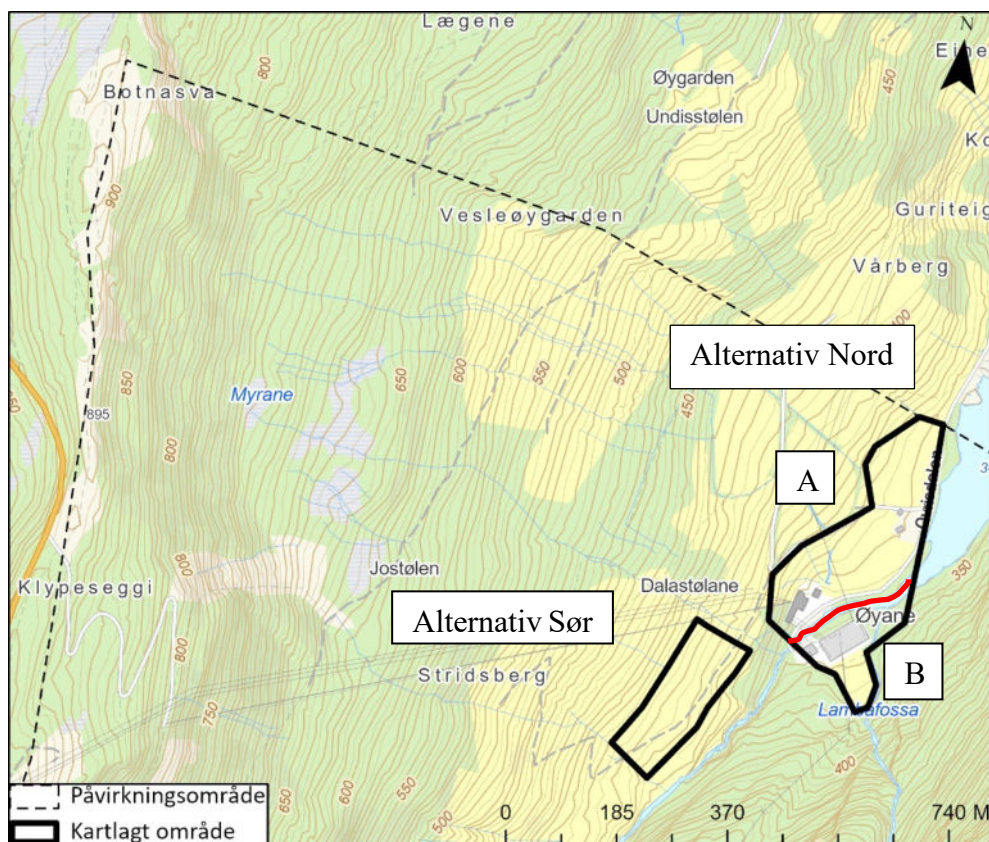
Figur 2-2 Oversikt over kartleggingsområder og terrenghelning. Helningskart med bedre oppløsning er vist i Vedlegg G.



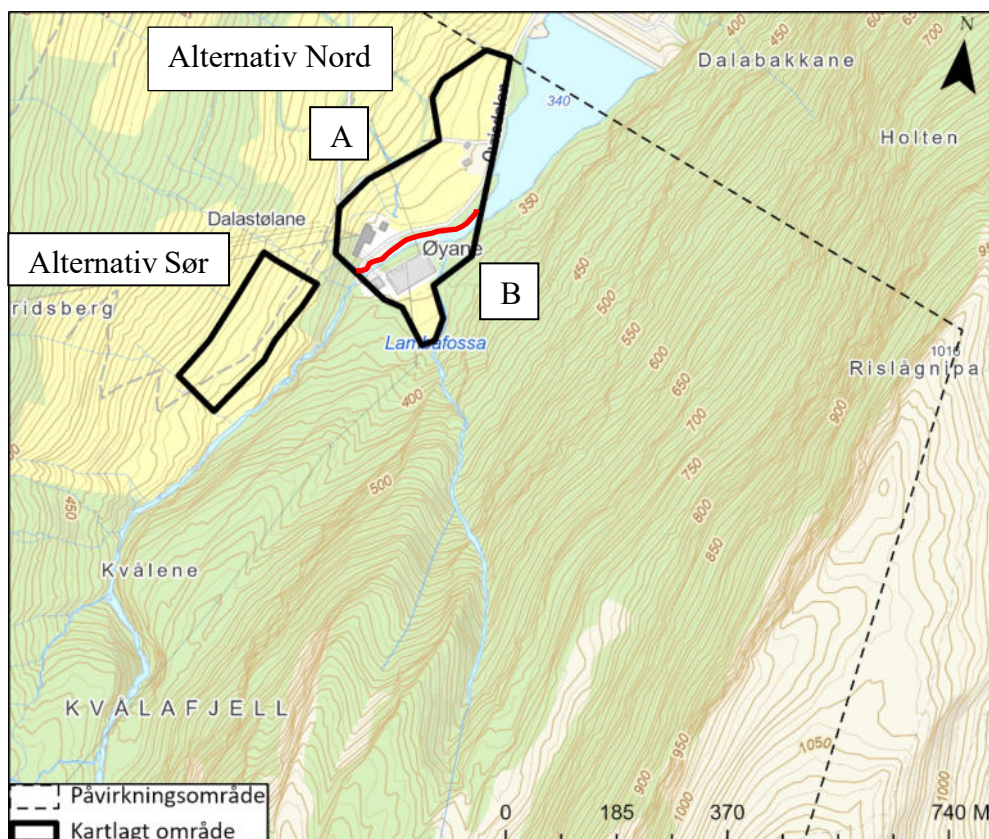
Figur 2-3 Dreneringsmønster i påvirkningsområdet. Dreneringskart med bedre oppløsning er vist i Vedlegg G.

2.1.1.1 Alternativ Nord

For å enklere beskrive kartleggingsområdet deles det inn i Alternativ Nord (A) og Alternativ Nord (B). Alternativ Nord (A) inkluderer området nord for elva Vikja, mens Alternativ Nord (B) inkluderer området sør for elva (Figur 2-4, Figur 2-5).



Figur 2-4 Oppdeling av kartleggingsområder fra påvirkningsområdet fra vest. Rød markering i Alternativ Nord viser skille mellom Alternativ Nord (A) vest for elva og Alternativ Nord (B) øst for elva.



Figur 2-5 Oppdeling av kartleggingsområder med påvirkningsområdet fra øst. Rød markering i Alternativ Nord viser skille mellom Alternativ Nord (A) vest for elva og Alternativ Nord (B) øst for elva.

Alternativ Nord (A) ligger ved foten av den sørøstvendte kammen Botnasva (ca. 900 moh.) (Figur 2-4, Figur 2-6). Fjellsiden er hovedsakelig slakere enn 30° under 700 moh., med noen lokalt brattere områder lavere i terrenget. Mellom 700 – 950 moh. er terrenget brattere enn 30° opp mot toppryggen. Nedenfor toppryggen er det et åpent myrområde. Ned mot Alternativ Nord (A) består fjellsiden av innmarksbeiter og dyrket jord med flere kryssende stier og skogsveier. Deler av fjellsiden har plantet granskog. Flere mindre bekkeløp renner ned mot kartleggingsområdet (se også oversikt av dreneringsmønster i Figur 2-3).



Figur 2-6 Oversikt over fjell- og dalsiden nordvest for kartleggingsområdene (www.norgei3d.no, 2022). Kartleggingsområdene er tegnet inn omtrentlig i sort.

Figur 2-7 viser deler av dalsiden ved mot kartleggingsområdene. På befaringen (07.11.22) var bakken vannmettet (Figur 2-8). Blokker (1-3 m³) med ukjent opprinnelse lå usammenhengende på jordene.



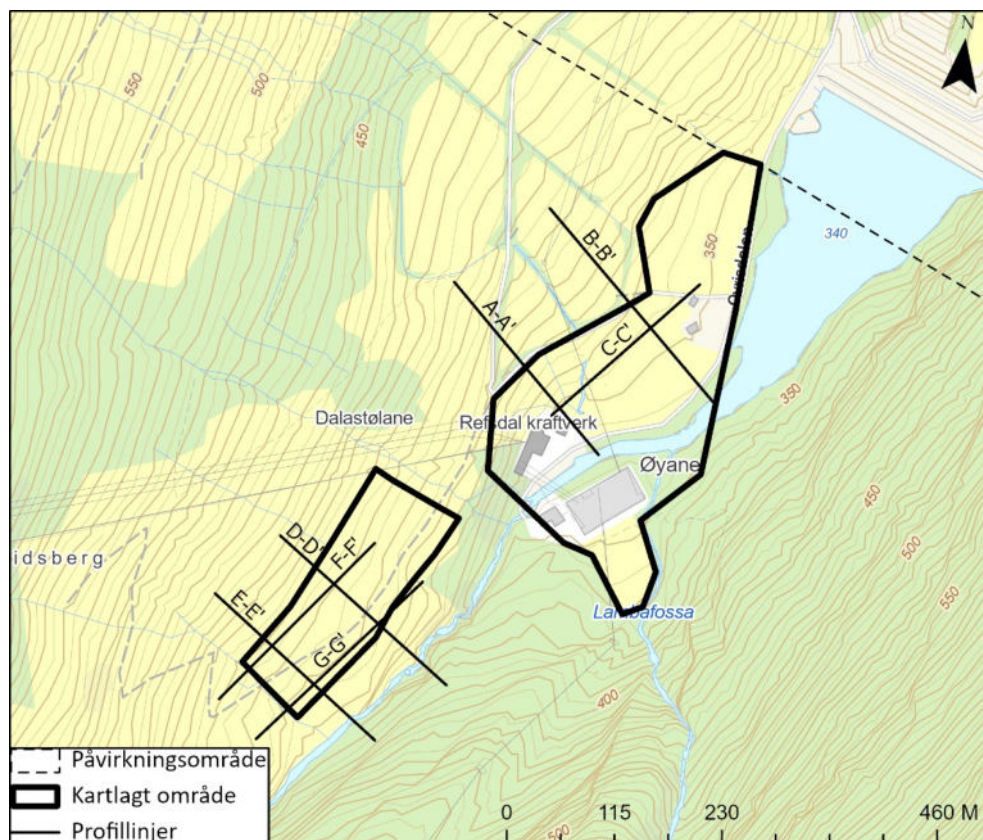
Figur 2-7 Bilde tatt fra innmarksbeite nordvest i påvirkningsområdet mot sørøst (ca. 610 moh.).



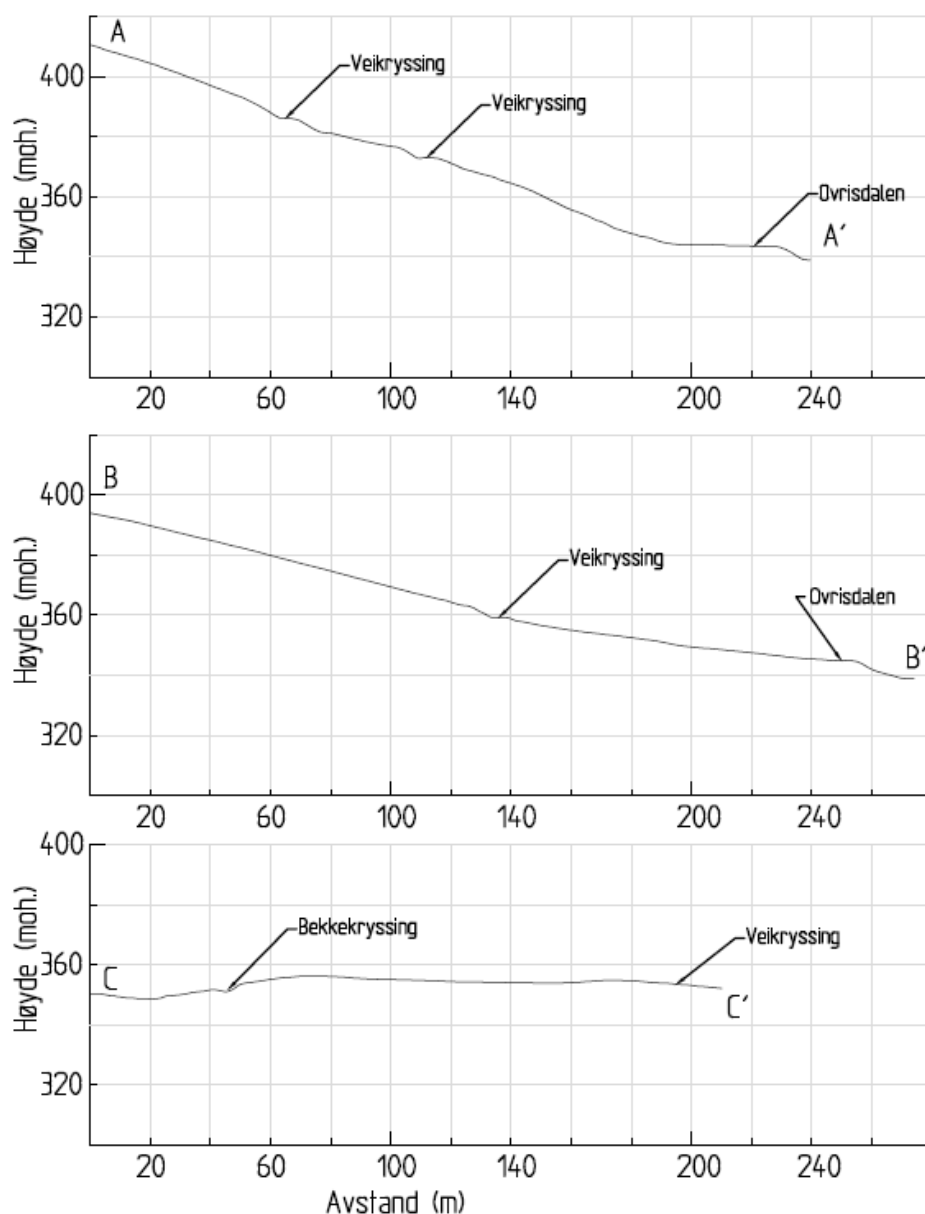
Figur 2-8 Fuktig mark i innmarksbeite. Bildet tatt fra nordvest over Alternativ Nord (A) mot sør (ca. 585 moh.).

Terrenget har tilnærmet jevn helning på rundt 10-20° fra nordvest mot sørøst (ned mot elven) og har små høydevariasjoner i retning sørvest-nordøst (Figur 2-9, Figur 2-10).

Under befaring 07.11.2022 var bakken vannmettet og overflatevann var synlig på traktorveier og stier.



Figur 2-9 Plassering av profilene A-C for Alternativ Nord (A) og D-G for Alternativ Sør.



Figur 2-10 Profilene A-C for Alternativ Nord (A).

Alternativ Nord (B), ved dagens koplingsstasjon (350 moh.), ligger ved foten av den nordvestvendte fjellsiden mellom Rislågnipa (1016 moh.) og Fyrjaeggi (1137 moh.) (Figur 2-5). Fjellsiden er i stor grad over 30° opp til ca. 900 moh. Mellom 900 og 1000 moh. blir terrenget markant brattere (>45°). Deretter flater terrenget noe ut opp til toppryggen. Lambafossa, som drenerer Skadvatnet (1130 moh.), kommer ned like ovenfor dagens koplingsstasjon (Figur 2-18). I tillegg krysser noen mindre bekkeløp fjellsiden (se også oversikt av dreneringsmønster i Figur 2-3).

Figur 2-11 og Figur 2-12 viser fjellsiden øst for Alternativ Nord (B).



Figur 2-11 Oversikt over fjellsiden sørøst for kartleggingsområdene (www.norgei3d.no).

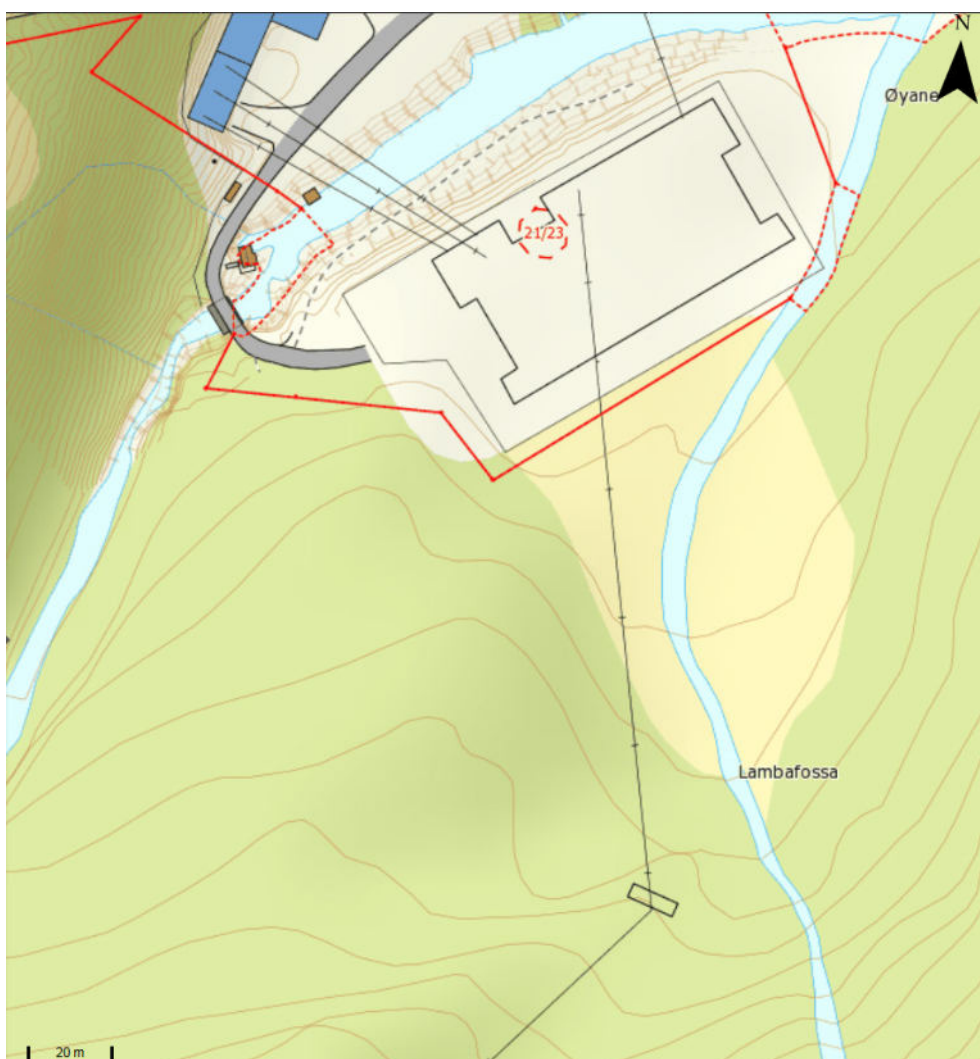
Figur 2-12 viser Lambafossa fra sør ned mot kartleggingsområdene. Fyrjaeggi (1137 moh.) ligger sørøst for dagens stasjon, rett frem på bildet. Rislågnipa (1016 moh.) ligger rett utenfor bildet mot nord. Bildet viser flere nye skredbaner ned mot stasjonen fra fjellsiden i øst, samt raviner i sør.



Figur 2-12 Bilde fra helikopter viser eksisterende Refsdal stasjon (bidet tatt mot sørøst).

Figur 2-13 viser kart over dagens stasjonsområde og elveløp mot stasjonen. Bekken over jordet sør for eksisterende koblingsanlegg på østsiden av elva, nedenfor Lambafossa, er lagt om (eksakt tidspunkt for dette er ikke kjent). Bekkeløpet følger nå skogkanten øst

for jordet og har et lite tverrsnitt (1-2 m²; Figur 2-14). Forbi sørøstre hjørne av koblingsanlegget går bekken i rør gjennom en mindre fylling (Figur 2-15). Jordet var svært vått ved befaringen 2022-05-31 (Figur 2-16). Det er etablert en dreneringsgrøft langs eksisterende anlegg, hvilket indikerer at jordet ovenfor anlegget er fuktig (Figur 2-17). Bekken som er lagt om utgjør ikke tilstrekkelig sikring mot naturfare.



Figur 2-13 Kart over Alternativ Nord (B) med stasjonsområde og elveløp mot stasjon. Figuren viser gammelt elveløp samt omlagt løp og etablert grøft (figur fra NGI, 2015).



Figur 2-14 Eksisterende bekkeløp (omlagt) har lite tverrsnitt (ca. 1-2 m²) (Alternativ Nord (B)).



Figur 2-15 Bekk er ledet gjennom rør under sørøstre hjørne av dagens stasjonsområde (Alternativ Nord (B)).



Figur 2-16 Fuktig mark langs opprinnelig bekkeløp (Alternativ Nord (B)).



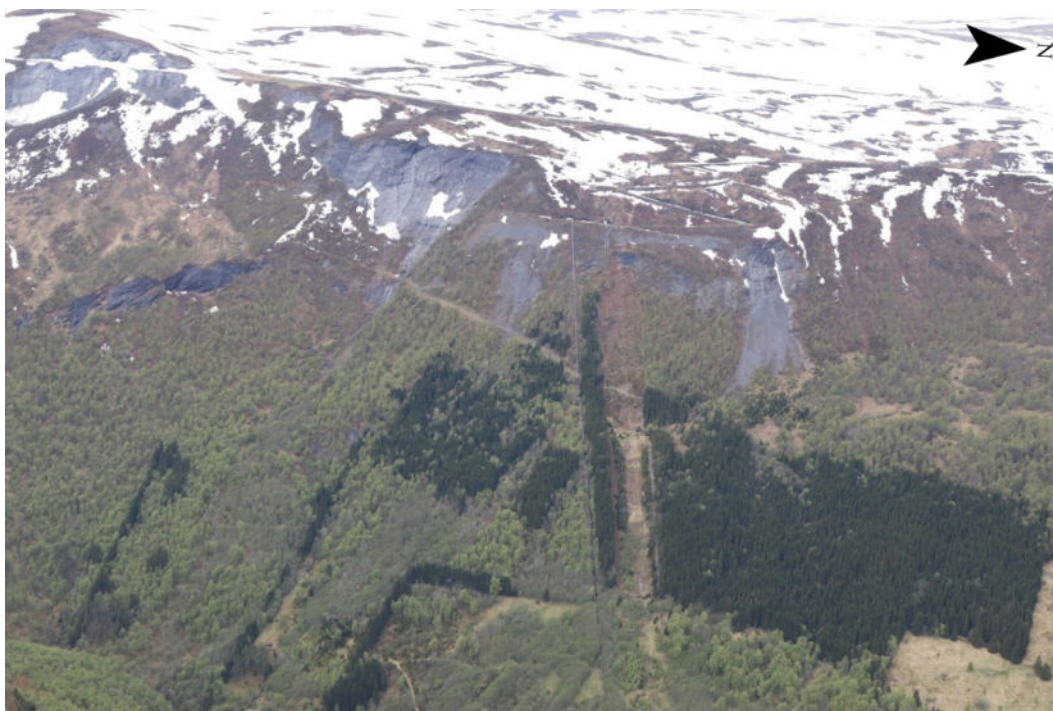
Figur 2-17 Grøft langs anlegget nederst på jordet (Alternativ Nord (B)).



Figur 2-18 Området rundt Lambafossen, sørøst for Alternativ Nord (B).

2.1.1.2 Alternativ Sør

Kartleggingsområdet ligger på en utflating på rundt 390 moh. (Figur 2-2). På nedsiden av området bikker terrenget bratt ned 30-40 høydemeter, til elven Vikja, som ligger i et trangt juv. Vest for Alternativ Sør ligger en østvendt fjellside, som ender i en smal rygg på rundt 950 moh. (Figur 2-4). Fjellsiden er i stor grad under 30° opp til ca. 650-700 moh., bortsett fra enkelte områder med helling mellom 27-45°. Over 650-700 moh. blir terrenget markant brattere (>30°) opp til toppryggen. Flere bekker renner ned mot Alternativ Sør.



Figur 2-19 Deler av fjellsiden vest for Alternativ Sør.



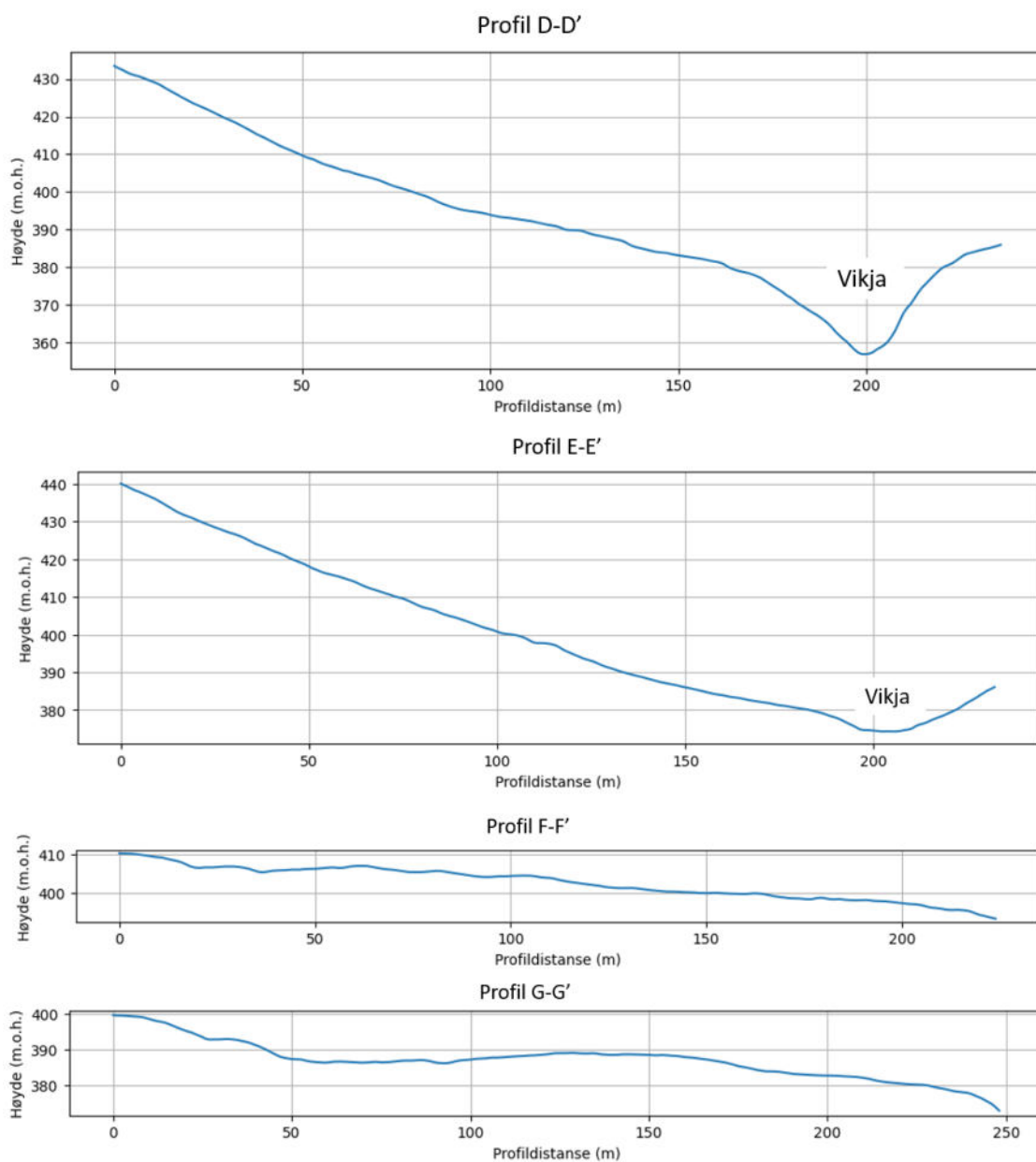
Figur 2-20 Bilde tatt fra Alternativ Sør mot nordvest. Løvtrærne er anslått å være ca. 40 år gamle basert på kart fra NIBIO og feltmålinger.

Under befaring 07.11.2022 var bakken svært vannmettet og overflatevann var synlig på traktorveier og stier (Figur 2-21).



Figur 2-21 Fuktig mark i Alternativ Sør.

Figur 2-9 og Figur 2-22 viser terrengprofiler for Alternativ Sør.

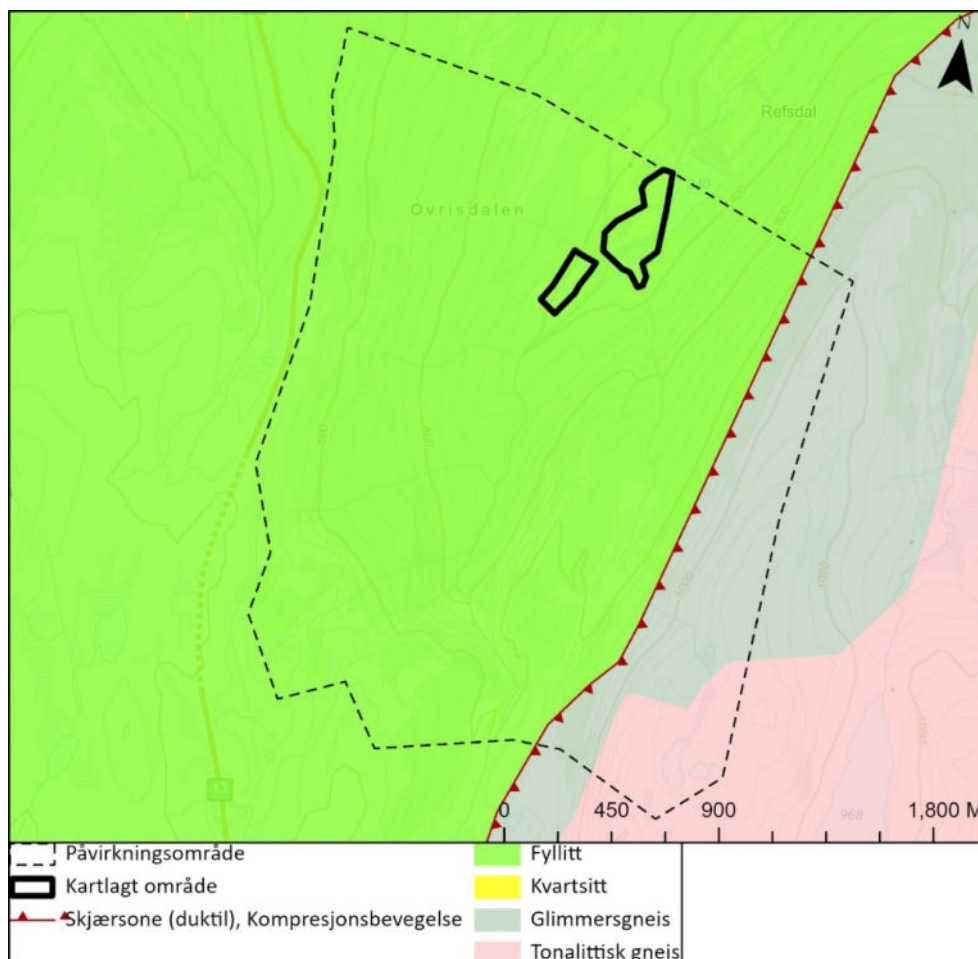


Figur 2-22 Terrengprofil D-G for Alternativ Sør.

2.1.2 Grunnforhold

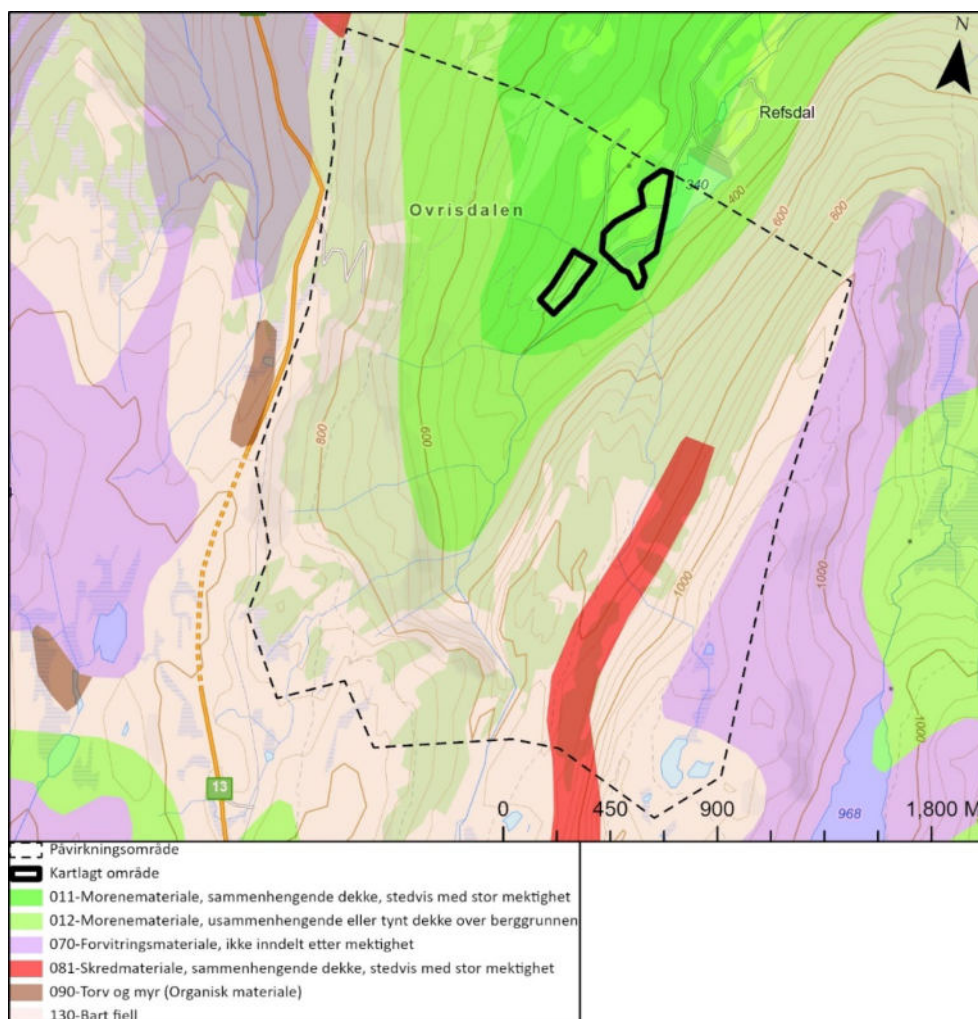
Berggrunnen i planområdet er i berggrunnskart fra NGU angitt å bestå av fyllitt (berggrunnsgeologisk kart, målestokk 1:250 000). Fyllitt er omdannet fra leirskifer og har mikroskopiske mineralkorn (ikke mulig å se uten mikroskop). Den skiller seg fra leirskifer ved fløyelsaktig glans og større seighet. At berggrunnen består av fyllitt ble også påvist i dagen ved feltarbeid i forbindelse med utredning av Alternativ Nord (NGI, 2022).

Figur 2-23 viser berggrunnskart N250 fra NGU (NGU, 2022). Kartet viser skjæringssonen mellom en sone av fyllitt og en sone av glimmergneis.



Figur 2-23 Berggrunnskart for kartleggingsområdene (data fra NGU BerggrunnB250).

Løsmassene i de kartlagte områdene består av morenemateriale (løsmassekart, målestokk 1:250 000) (Figur 2-24). Løsmassekartet foreligger kun i målestokk 1:250 000 og er derfor kontrollert med grunnundersøkelser for Alternativ Nord (A) samt under befaring (Multiconsult, 2021). I skråningene vest og øst for Alternativ Nord, samt vest for Alternativ Sør, er det først tynn morene, og deretter bart fjell med stedvis tynt løsmassedekke av forvittringsmateriale. Marin grense ligger på rundt 125 moh. og begge kartleggingsområdene ligger godt over dette. Følgelig finnes ikke marine avsetninger i kartleggingsområdene.



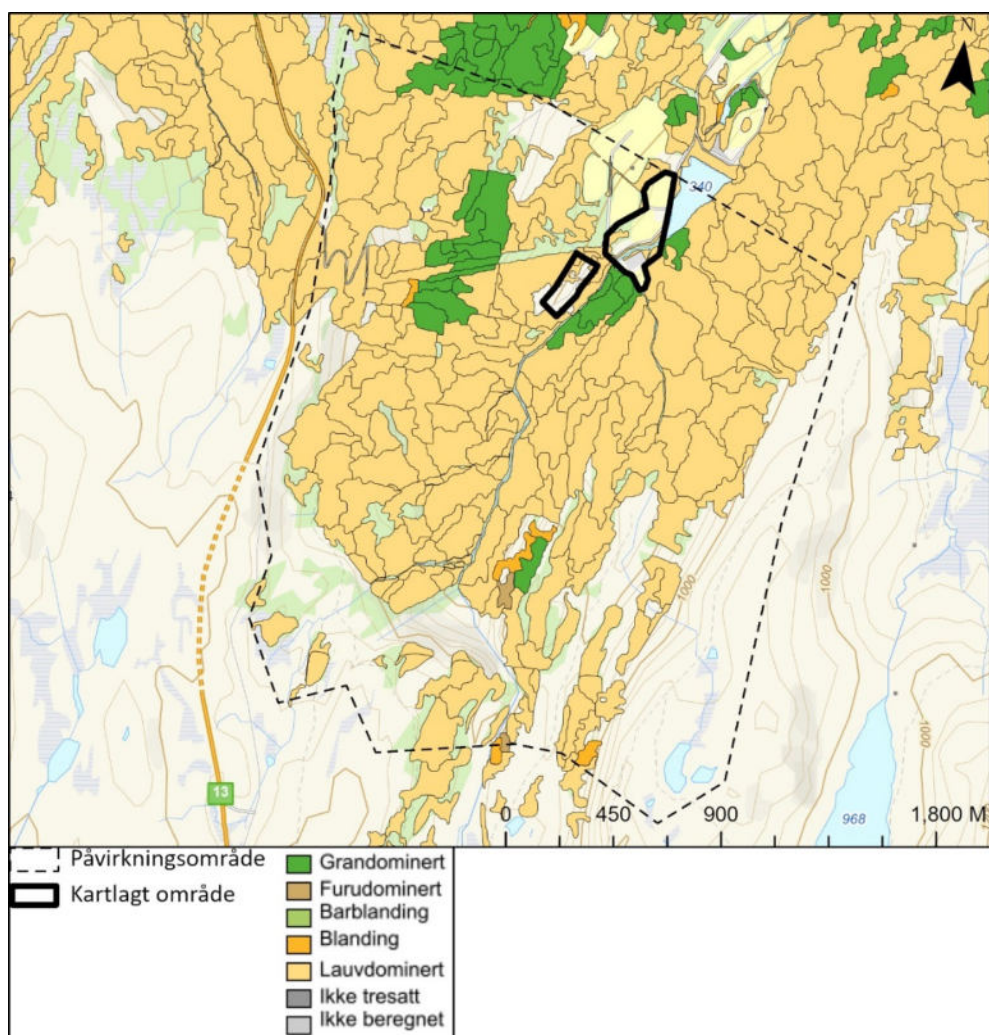
Figur 2-24 Løsmassekart for kartleggingsområdene (data fra NGU). Tall i henhold til løsmasse-typen fra NGU.

2.1.3 Vegetasjon

Generelt kan man anta at skog har en positiv effekt for å redusere frekvens og utbredelse/utløpslengde av skred i bratt terreng, men eksakt virkning er vanskelig å kvantifisere. Kravspesifikasjon til skogbestanden er forskjellig for de ulike faretypene, men generelt kan en si at det er ønskelig med en kontinuerlig høy grad av skogdekke (Schwitter mfl., 2014). Treslaget har imidlertid også stor betydning. Intersepsjon fra gran er høy på grunn av deres høye bladarealindeks (*Leaf area index, LAI*), noe som er gunstig for beskyttelse mot snøskred. Samtidig er deres beskyttende effekt som grunnrotede planter lavere mot jordskred. Kravet om tilstrekkelig og sammenhengende skogdekke gjør at store jevnaldrende beplantede arealer kun i begrenset grad bidrar til å sikre mot naturfarer. For eksempel er avstanden mellom eldre gran med lik alder så stor at snøskred kan strømme gjennom relativt uhindret. Selv om dette sjelden skjer, er ikke faren på lang sikt ubetydelig.

Skog vil ha større effekt i utløsningsområder enn i utløpsområder. Men en kan ikke utelukke at snøskred kan løsne i skog dersom terrenget er brattere enn 30° - 35°. Dersom skred løsner *ovenfor* skoggrensen, men kommer ned i skog på sin vei er effekten av skogen mindre. Riktignok vil utløpslengde bli redusert, men skred kan også ødelegge store deler av skogen, avhengig av skredstørrelse. Også for steinsprang er det slik at jo tettere skogen er, jo større blir energitapet, noe som bidrar til en reduksjon i sannsynlig rekkevidde. Liggende trær kan også ha stor betydning for rekkevidde til steinsprang.

Skredfarevurderingen er utført basert på dagens skogstatus. Figur 2-25 viser at store deler av påvirkningsområdet er dekket av skog. Tettheten av skogen er lav i flere områder, spesielt i områdene med lauvskog. Flere av skogsområdene er åpne og kun dekket av gress og lyng. Dette samsvarer også med inntrykket fra befaringer.

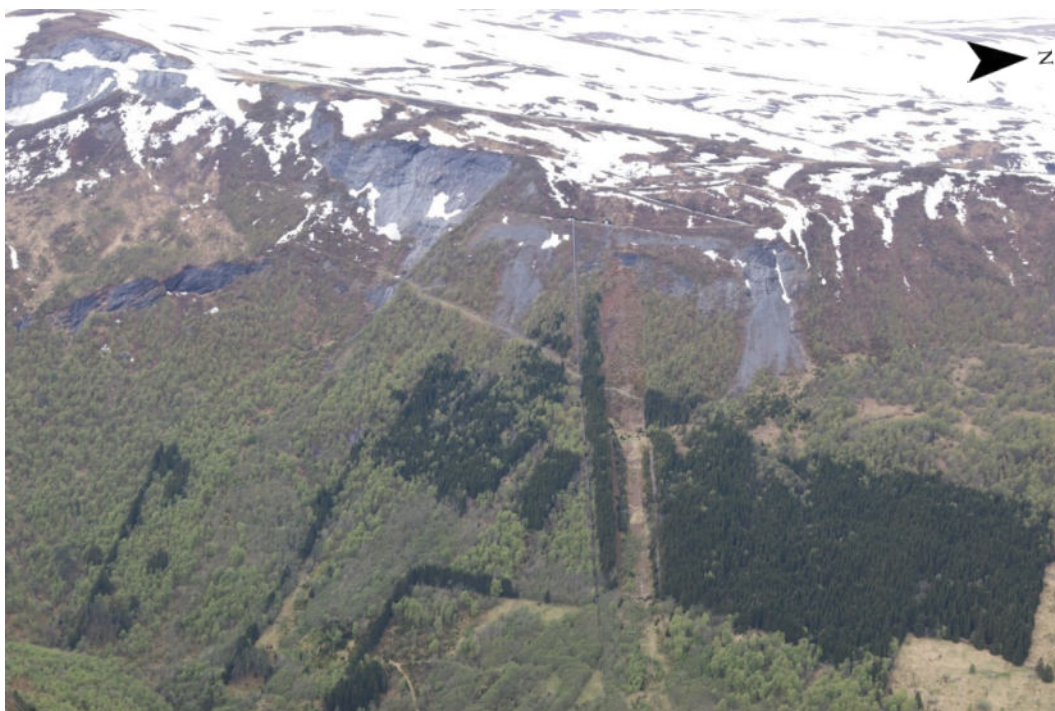


Figur 2-25 Oversikt over skogsutbredelse i tillegg til type treslag i kartleggings- og påvirkningsområdet.

Skoggrensen i fjellsiden over de kartlagte områdene ligger på ca. 800-900 moh. I følge SR16 data (NIBIO, 2022) er det hovedsakelig lauvdominert skog, men det er også noen få områder bestående av gran eller en blanding (Figur 2-26, Figur 2-27).

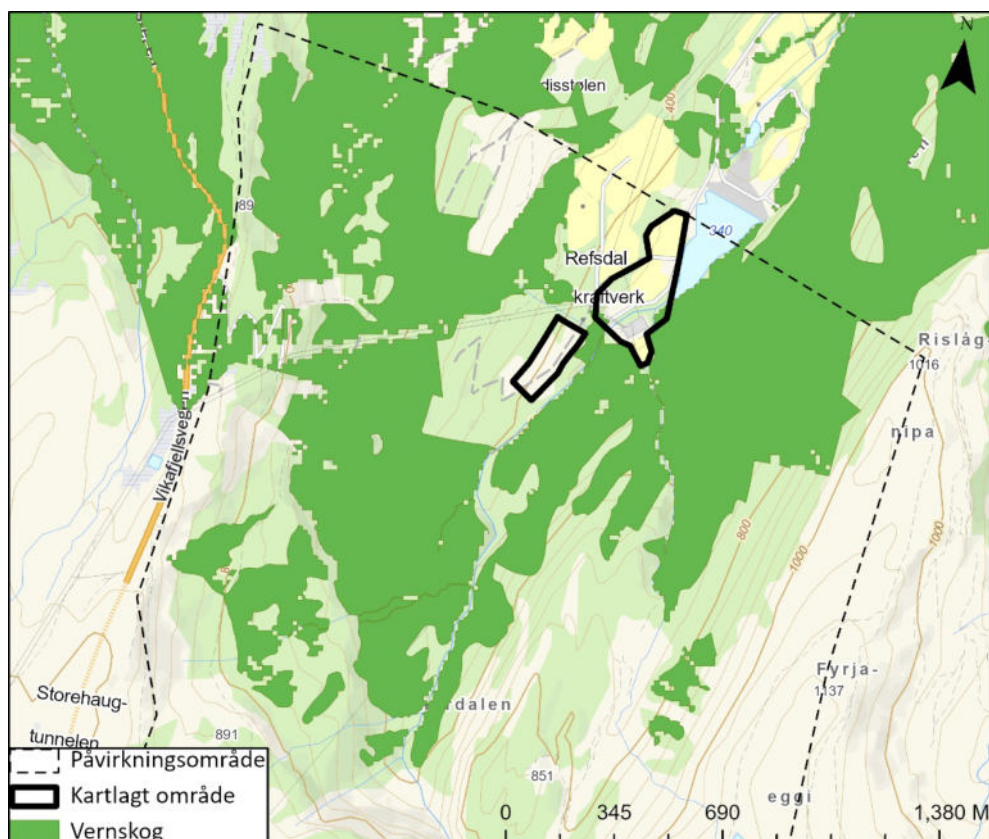


Figur 2-26 Skog i fjellsiden øst for koplingsstasjon er stort sett lauvdominert. Flere markante striper er synlige i skogen (langs dreneringveiene).



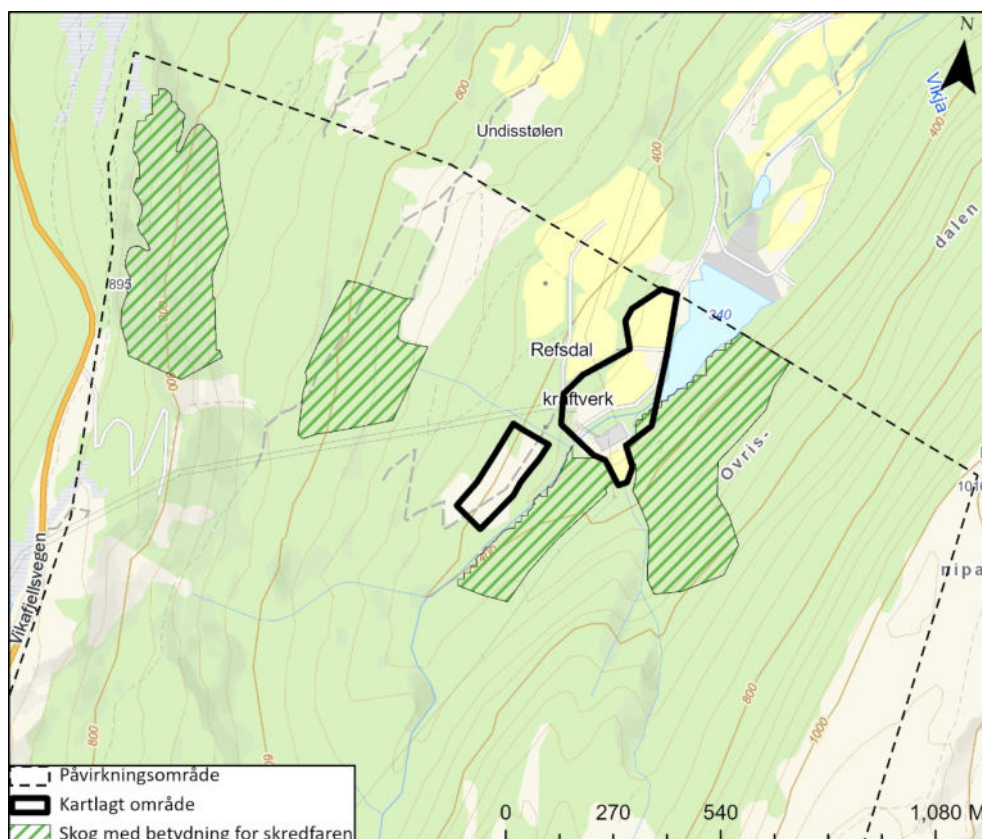
Figur 2-27 Fjellsiden vest for Alternativ Sør. Deler av fjellsiden består av felt med plantet granskog.

Figur 2-28 viser vernskog beregnet fra skogtettheten SR-16 og områder med produktiv skog fra datasettet AR5 (NIBIO, 2016).



Figur 2-28 Oversikt over vernskog. Beregnet fra skogtetthet (SR-16) og produktiv skog (AR5) (Vedlegg H).

Figur 2-29 viser skog med betydning for skredfaren mot kartleggingsområdene basert på observasjoner fra befaring og studier av flybilder. Skogpolygonet nordvest på kartet vil ha en forankrende effekt på snøen og vil begrense utløsningen av snøskred. Resterende polygoner vil ha en bremsende effekt på eventuelle snøskred, samt resterende skredtyper.



Figur 2-29 Oversikt over skog med betydning for skredfaren. Definert basert på skogtetthet (SR-16), skogtype, observasjoner fra befaring og flybilder (Vedlegg H).

Først og fremst er effekten av skog bestemt av skogtettheten. Reineken's (1933) skogtetthetsindeks (stand density index, SDI, med dimensjon antall trær per hektar), er basert på forholdet mellom antall trær per hektar og gjennomsnittlig diameter, og er en indeks som beskriver den karakteristiske fordelingen av trestørrelser i jevngammel skog. Indeksen gir en indikasjon på tettheten av trær og dermed en indikasjon for kronedekning. Karakteristiske verdier er avhengig av treslag.

For en tett granskog er SDI rundt 1000/ha og for en med rundt 50% kronedekning er SDI mellom 300/ha og 500/ha. For lauvskog om vinteren er kronedekning og sammenlignbar SDI generelt betydelig mindre og verneeffekten mot snøskred er begrenset også i utløsningsområdet. For at skog har en noen betydning mot skred bør SDI være minst 50/ha. Ifølge en større studie gjort i Alpeland på effekt av skog for snøskred er en kronedekning på minst 50% for barskog tilstrekkelig for å klassifiseres som vernskog (PROALP, 2010).

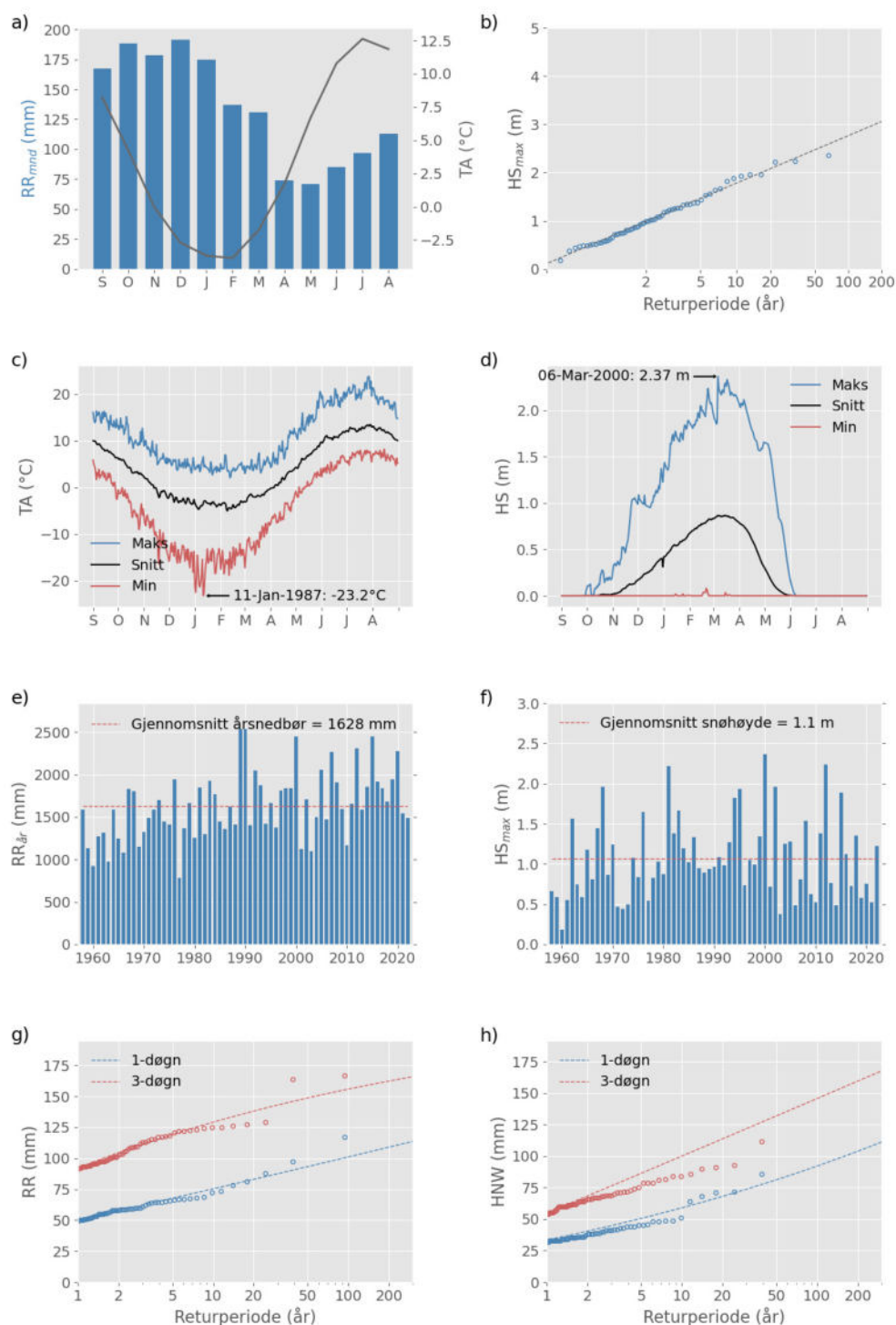
Produktiv skog blir inkludert for skog med betydning for skredfaren da denne skogen kan variere betydelig mtp. nytilvekst og hogst. Definisjonen på produktiv skog er ifølge NIBIO "Skog som i årlig gjennomsnitt kan produsere minst 1 m³ trevirke med bark pr. hektar og år under gunstige bestandsforhold.". For at skogen skal ha en vurdert tilstrekkelig effekt på skredfaren er det i tillegg satt et krav om en SDI > 100.

Generelt kan en si at selv høyt skogdekke ikke kan forhindre alle snø-, jord- eller flom-skred, men uten skog ville de ofte vært større. Skoghogstflater i bratt terreng kan bli mulige utløsningsområder for skred. Målrettet bevaring av skog er derfor forutsetningen for en langsiktig beskyttende effekt av skogen.

2.1.4 Klima

Figur 2-30 viser interpolerte klimadata fra SeNorge-datasettet (Lussana et al., 2016; Saloranta, 2014) for normalperioden 1991 – 2020 fra Refsdal Kraftstasjon (ca. 350 moh.) og viser at normal årsnedbør i det undersøkte området er ca. 1682 mm, hvor ca. 583 mm kommer om vinteren (DJF). Årsmiddeltemperatur i området er 3.8 °C og døgn-middeltemperaturen varierer normalt fra -14.1 °C til 18.9 °C. Gjennomsnittlig årsmaksimal snøhøyde er 116 cm og maksimal snøhøyde siste 60 år er 237 cm. Antall dager med snø på bakken (>5 cm) er i gjennomsnitt 99.

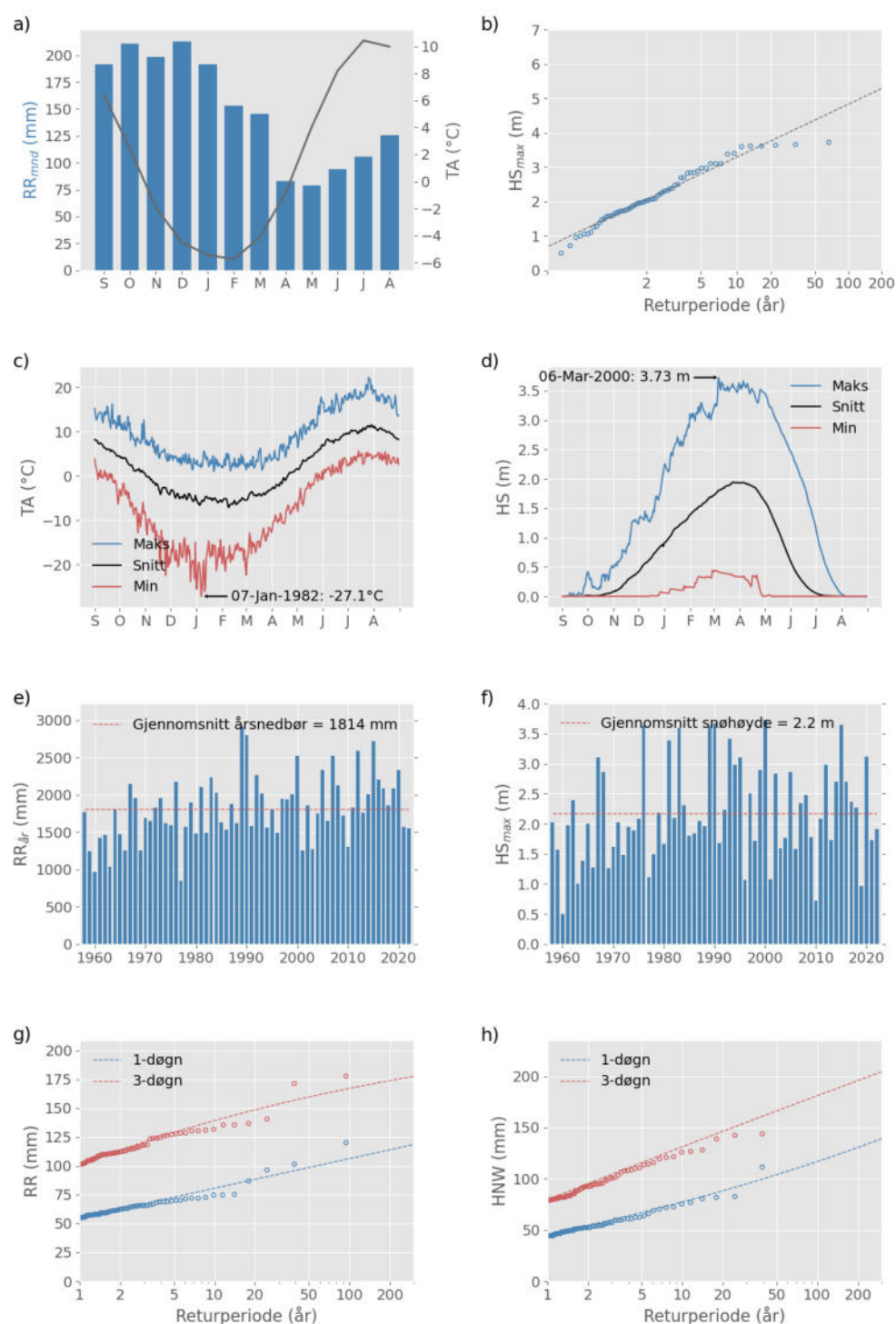
Ved å bruke de maksimale nedbør- og snøhøydeverdiene i de interpolerte dataene kan man estimere forventet 1000-års nedbør og 300-års snøhøyde for området. I dette området er 1000-års nedbør beregnet å være 131 mm/døgn, og 300-års snøhøyde 3.3 meter. Dette er estimer basert på korte observasjonsperioder og statistiske usikkerheter.



Figur 2-30 Klimadata fra Refsdal Kraftstasjon (ca. 350 moh.) basert på interpolerte dataserier fra SeNorge (www.senorge.no). a) Månedsnedbør og –lufttemperatur, b) returverdier (gumbelfordeling) for årlig maks snøhøyde. Daglig minimum, maksimum og gjennomsnittlig lufttemperatur (c) og snøhøyde (d). Tidsserier av årsnedbør (e) og årlig maks snøhøyde (f). Returverdier (peak over threshold) for 1- og 3-døgns nedbør (g) og nysnøtilvekst (h). Dataperiode: 1958 – dagens dato. Gjennomsnitt er beregnet over hele perioden.

Figur 2-31 viser interpolerte klimadata fra SeNorge-datasettet for normalperioden 1991 - 2020 for et punkt (gridcelle) ved ca. 1030 moh. ved Rislågnipa ovenfor dagens koplingsstasjon for å vise representative data fra fjellområdene ovenfor stasjonen. Her er normal årsnedbør ca. 1847 mm, hvor ca. 640 mm kommer om vinteren (DJF). Års-middeltemperatur i området er 1.9 °C og døgnmiddeltemperaturen varierer normalt fra -17.9 °C til 17.2 °C. Gjennomsnittlig årsmaksimal snøhøyde er 222 cm og maksimal snøhøyde siste 60 år er 373 cm. Antall dager med snø på bakken (>5 cm) er i gjennom-snitt 258.

Ved å bruke de maksimale nedbør- og snøhøydeverdiene i de interpolerte dataene kan man estimere forventet 1000-års nedbør og 300-års snøhøyde for området. I dette området er 1000-års nedbør beregnet å være 128 mm/døgn, og 300-års snøhøyde 5.6 meter. Dette er estimer basert på korte observasjonsperioder og statistiske usikkerheter.



UTM33 46155E, 6794199N, 787moh

Figur 2-31 Klimadata fra Rislågnipa (ca. 1030 moh.) basert på interpolerte dataserier fra SeNorge (www.senorge.no). a) Månedsnedbør og –lufttemperatur, b) returverdier (gumbelfordeling) for årlig maks snøhøyde. Daglig minimum, maksimum og gjennomsnittlig lufttemperatur (c) og snøhøyde (d). Tidsserier av årsnedbør (e) og årlig maks snøhøyde (f). Returverdier (peak over threshold) for 1- og 3-døgns nedbør (g) og nysnøtilvekst (h). Dataperiode: 1958 – dagens dato. Gjennomsnitt er beregnet over hele perioden.

Figur 2-33 viser vindrose for Myrkdalen-Ondrahaugen (853 moh.). Vindrosen indikerer at vind i høyden med mer enn 4 m/s (tilstrekkelig for transport av fokksnø) kommer hovedsakelig fra vestlige retninger, men også tildeles fra østlig retning.



2.2 Tidligere utredninger / kartlegginger i området

NGI kjenner til følgende rapporter med tidligere skredfarevurderinger innenfor området:

- *EFLA AS (2014) Refsdal koblingsstasjon, Rasvurdering, juni 2014.*
- *NGI (2015). Ingeniørgeologisk bistand til småkraftverkprosjekter på Vestlandet. Refsdal kraftstasjon, Vik – Befaringsrapport. Dokument nr. 20140342-05-TN, rev. 0, datert 26.03.2015.*
- *NGI (2022a). Transformatorstasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal. Vurdering av naturfarer og grunnforhold for transformatorstasjon Refsdal frem til BP1. Dokument nr. 20210463-04-R, rev. Nr. 0, datert 18.02.2022*
- *NGI (2022b) 4 trafostasjoner på Vestlandet vurdering av naturfarer og grunnforhold for transformatorstasjon Refsdal sør for Refsdal kraftverk frem til BP1. Dokument nr. 20210463-05-R, rev. 0, datert 18.03.2022.*
- *NGI (2022c) Stasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal skredfarevurdering refsdal stasjon i henhold til sikkerhetsklasse S3. Dokument nr. 20210463-06-R, rev. 0, datert 08.07.2022.*

I tillegg finnes en datarapport for grunnundersøkelser:

- *Multiconsult (2021). Statnett – Geotekniske grunnundersøkelser Refsdal kraftverk. Geotekniske grunnundersøkelser. Datarapport. Dokument nr. 10227671-RIG-RAP-002, datert 02.11.2021*

2.3 Historiske skredhendelser

En oversikt over større skredhendelser i området er gitt i Tabell 2-1. Kun steinspranget fra 1980-tallet og et historisk fjellskred er registrert innenfor påvirkningsområdet i NVEs skredatabase (skrednett.nve.no). De omtalte hendelsene i tabellen ligger nord for området, ved Rislåg og Undi. Flere hendelser (snø-, sørpe- og steinskred) er registrert langs Vikafjellsvegen vest for kraftverket.

Hendelsene i Tabell 2-1 er registrert i NVEs skredatlas. Den siste hendelsen er en opplysning fra Odd Bjarte Turvolle som er beskrevet i ELFA (2014). Et steinsprang i 1986 eller 1987 rammet frilufta og ødela en samleskinne. Antatt utløsningssted var øverst i fjellsiden.

Tabell 2-1 Registrerte skredhendelser i Refsdal i nærheten av Refsdal koblingsstasjon (fra EFLA, 2014)

År	Type skred	Beskrivelse
Ukjent	Fjellskred	Fjellskredavsetning observert fra hillshade.
24.03.1746	Snøskred	Vik. Ein Siur Hermindson med bustad på Risløv (Rislåg) i Ovrisdalen døde 13. mars 1746: "Alder 24 ½ år omkom i ei snøskreda." Det er uklart om dette var på eller ved garden.
03.08.1783	Steinsprang	Vik i Sogn. Risløv (Rislåg) i Ovrisdalen. Den 3. august 1783, eller nokre dagar før, omkom Birthe Andersdatter frå Risløv (28 år) av eit steinsprang. "ihelslegen av stein som losna frå fjellet." Lokalkjende meiner dette skjedde ved garden.
10.08.1802	Steinsprang	Vik i Sogn. Ved Kinni (Kind). Den 10. august 1802 eller nokre dagar før døde Brita Johannesdatter Kind (bustad på Kind) 30 år, livet. "som blev funden død i en steenscred." Truleg på eller ved garden.
02.12.1811	Jordskred	Vik i Sogn. Refsdal i Ovrisdalen. Same natt som storulykka i Arnafjord, gjekk skred tvers overfor Refsdal. Raset losna like over Risløvholtan, var nokså smalt, men breia seg ut slik at det ved Refsdal vart 400 m breitt. Folk på Risløv (Rislåg) flytta ut av husa denne natta. Skredet laga eit kraftig lufttrykk som gjorde skade på husa, men folk og dyr vart ikkje skadde.
20.07.1841	Steinsprang	Vik. Undi. Den 20. juli 1841 omkom Johannes Jonsen, 30 år gammal, frå garden Undi i Ovrisdalen. "Ihjelslagen i et steenscred."
15.09.1963	Jordskred	Vik i Sogn. I Ovrisdalen gjekk ei natt i september 1963 eit fjellskred. Det kom heilt oppe frå Skardet. Skredet reiv med seg ei løe, skog, beite, dyrkamark til Guro Orvedal. Skredet delte seg og gjekk saman på flata att, og var 150 m breitt. Fleire husdyr strauk med. Skredet laga elvedemme i Hugalleva som gjorde skade på jord og vegar.
1980 tallet (1983, 1986 eller 1987)	Steinsprang	300 kV samleskinne i koblingsstasjonen ble tatt av steinsprang.

2.4 Eksisterende sikringstiltak

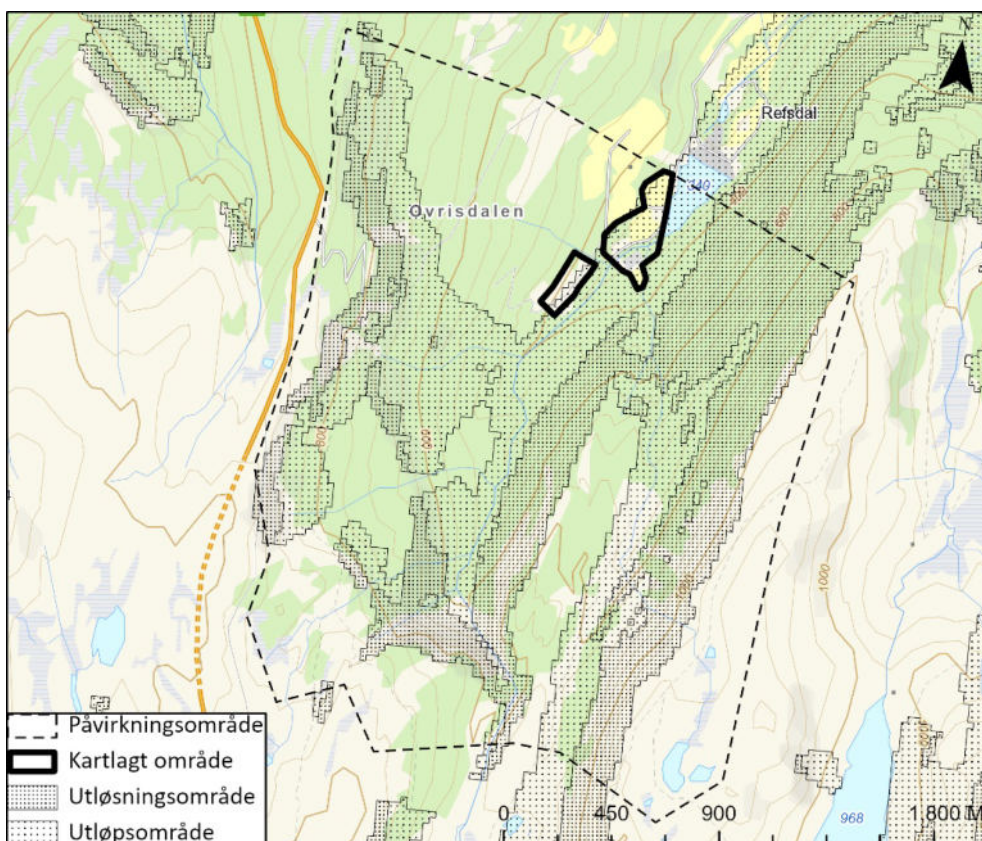
Det er ingen kjente sikringstiltak mot skred i de aktuelle områdene. Under befarings ble det observert flere dreneringstiltak, blant annet en terrenggrøft med tilhørende voll.

2.5 Eksisterende aktsomhetskart

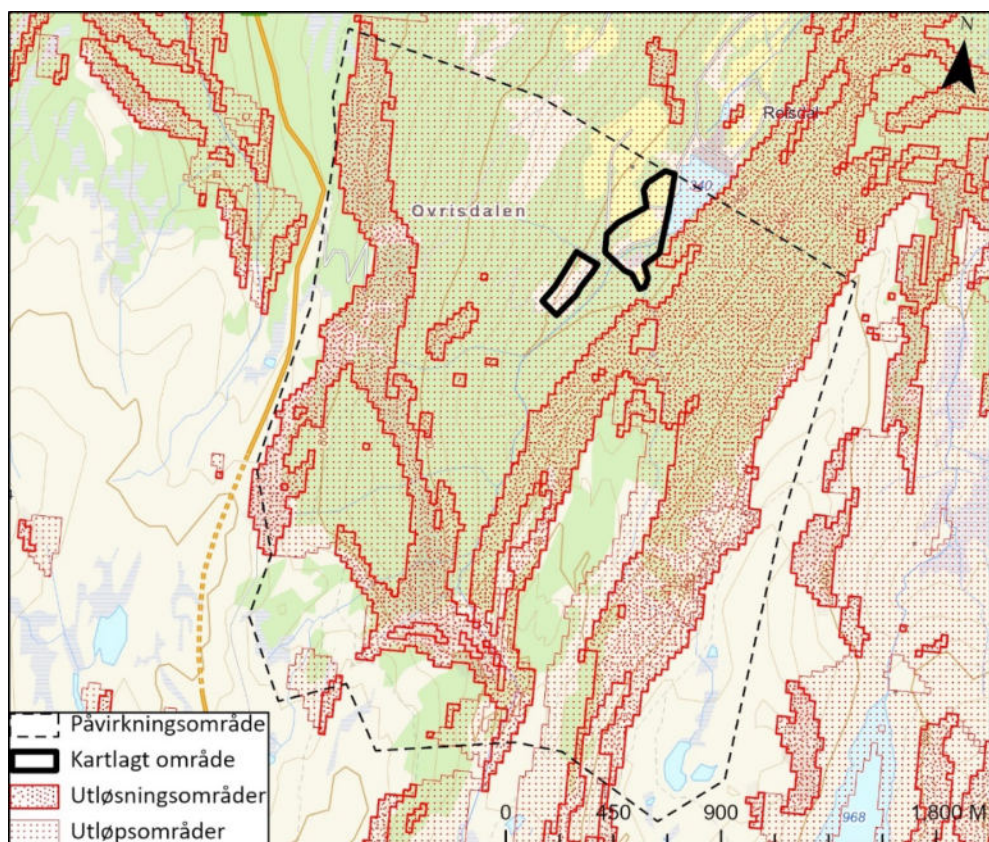
Figur 2-34, Figur 2-35 og Figur 2-37 viser aktsomhetskart fra NVE for steinsprang, snøskred og jord- og flomskred over de kartlagte områdene. Vi legger til grunn de offisielle aktsomhetskartene utarbeidet av NVE, samt aktsomhetskart for stein- og snøskred fra NGI (Figur 2-36), i våre analyser. NVEs aktsomhetskart gir ofte en for konservativ vurdering av skredfare da de bare tar hensyn til topografi fra grov terrengmodell, ikke skredutløsningssannsynlighet og ikke inkluderer noen form for feltundersøkelser eller klimaanalyser. For kartleggingsområdene og omkringliggende områder har NGI

tidligere laget aktsomhetssoner for stein- og snøskred som inkluderer feltundersøkelser (NGI, 2015).

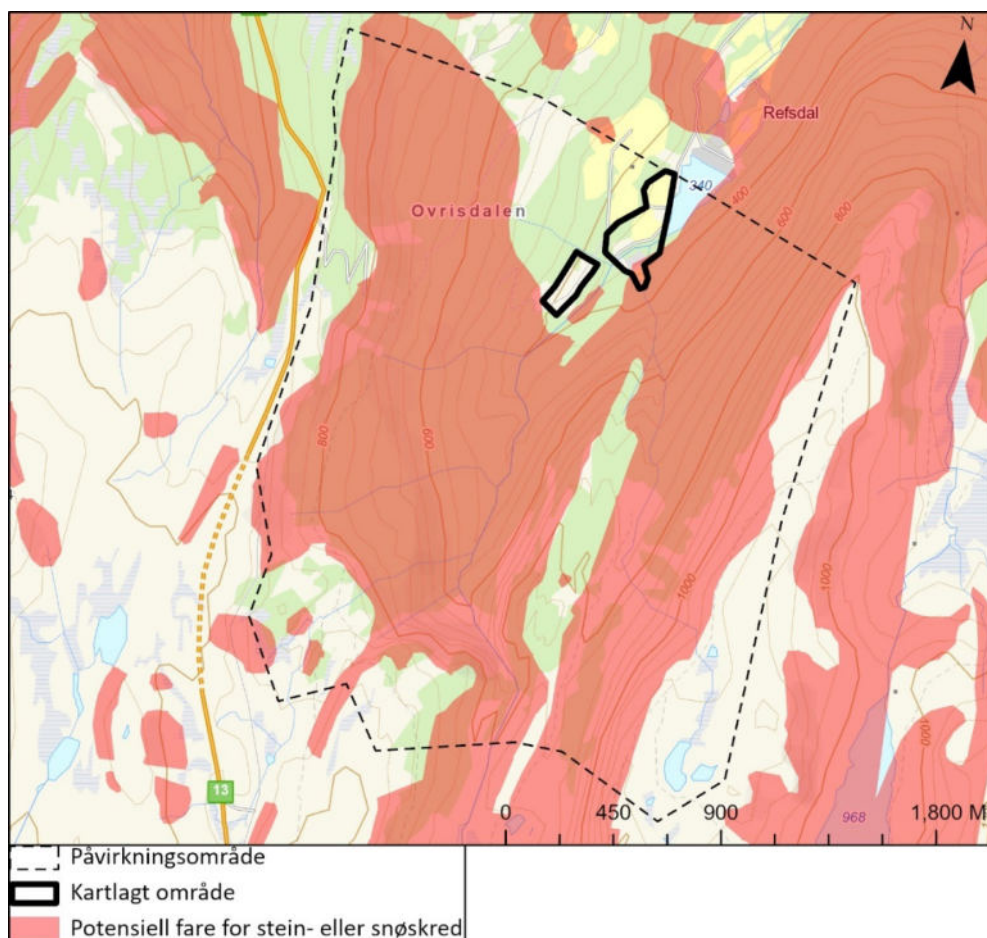
Aktsomhetskartene fra NVE indikerer at de kartlagte områdene er utsatt for de nevnte faretypene, med unntak av Alternativ Sør som tilsynelatende er lokalisert utenfor aktsomhetsområder for jord- og flomskredfare. Dersom aktsomhetskartet fra NGI tas hensyn til er Alternativ Sør også utenfor aktsomhetsområdet for stein- og snøskred.



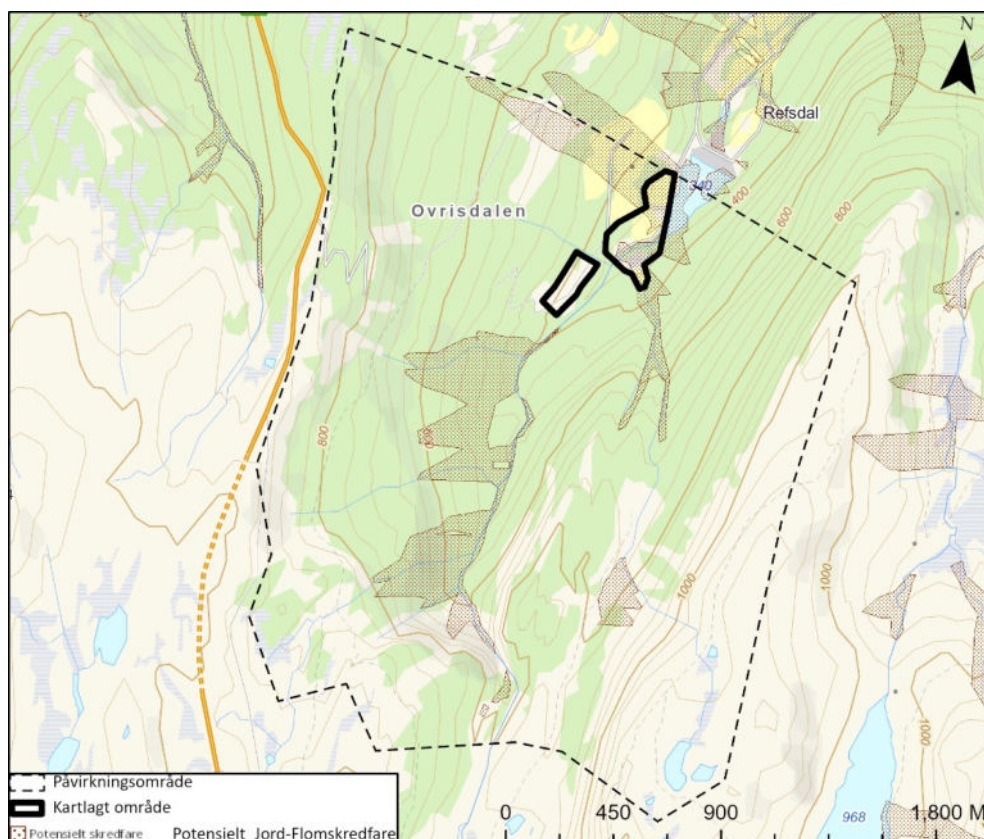
Figur 2-34 Aktsomhetskartet for steinsprang over kartlagte områder (data fra NVE).



Figur 2-35 Aktsomhetskartet for snøskred over kartlagte områder (data fra NVE).



Figur 2-36 Aktsomhetskart for snø- og steinskred utarbeidet av NGI. Røde områder viser aktsomhetssoner.



Figur 2-37 Aktsomhetskartet for flom-/jordskred over kartlagte områder (data fra NVE).

3 Skredfarevurdering

Krav til skredfareklasse for nytt anlegget er S3 (sannsynlighet $< 1/5000$ pr. år). Påvirkningsområdet har inkludert områder mot sør for å få med bekker som renner ned til kartleggingsområdene. Andre faretyper er vurdert basert på hva som kan ha retning mot kartleggingsområdene. Utredning av skredfare per vurderte skredtype er gitt i kapitlene under.

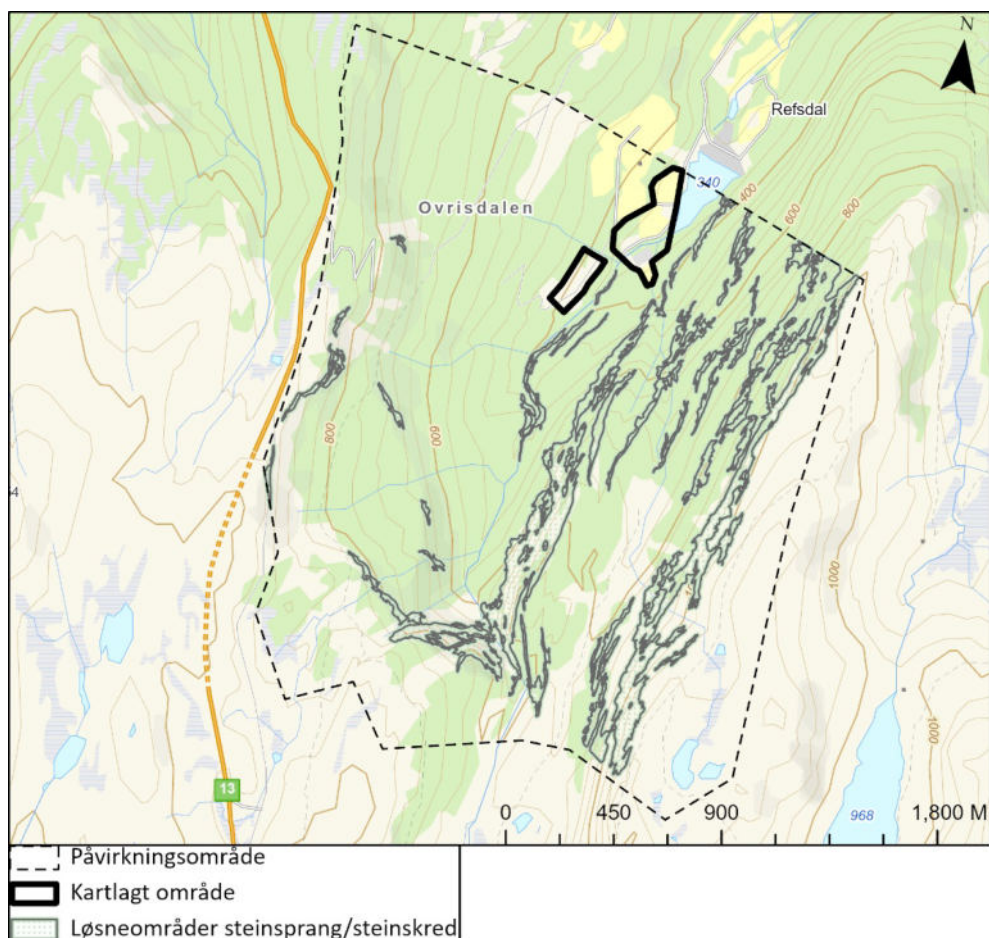
3.1 Steinsprang

3.1.1 Er steinsprang aktuell prosess i påvirkningsområdet?

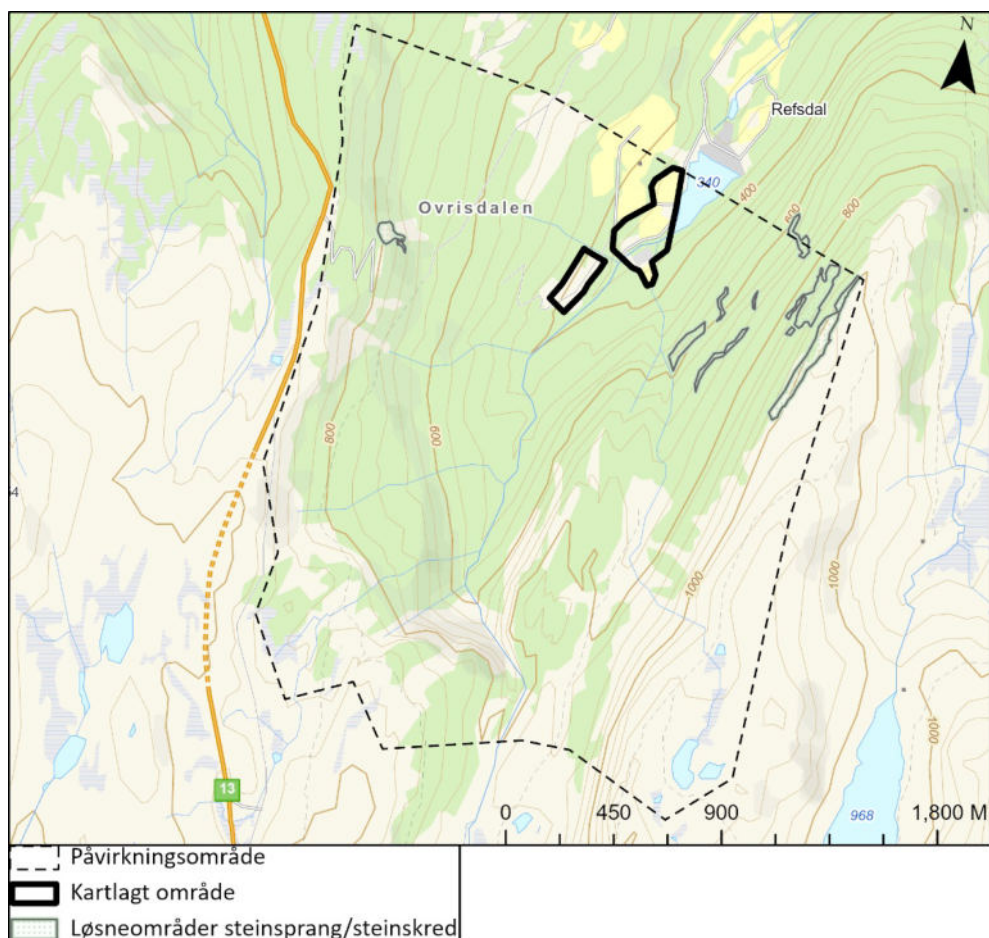
Det er bratte bergskrenter øst for Alternativ Nord (B) og vest for Alternativ Sør, med flere partier brattere enn 45° (Figur 2-5). Faren for steinsprang må derfor utredes.

3.1.2 Utredning av løsneområde og løsesannsynlighet

I Statnett sin ROS-analyse for Refsdal stasjon er det beskrevet at steinsprang traff dagens koplingsstasjon i 1986/1987 (ELFA, 2014). Antatt løsneområde for denne hendelsen er øvre del av fjellsiden øst for stasjonen (Figur 3-1, Figur 3-5).



Figur 3-1 Potensielle utløsningsområder for steinsprang/-skred (< 100 m³) som kan ha direkte eller indirekte påvirkning på de kartlagte områdene. Alle potensielle løsneområder over 45° i påvirkningsområdet er inkludert i kartet.



Figur 3-2 Inntegnede polygoner er spesielt utsatte skrenter observert under befarings.

Bergartsskillet mellom gneis i øvre del og mykere fyllitt i nedre del er tydelig i fjellsiden øst for Alternativ Nord (B) (Figur 3-3).



Figur 3-3. Øvre brattskrent består av hardere og mer motstandsdyktig gneis. Nedenfor består berggrunnen av mykere fyllitt som stedvis stikker over det tynne løsmassedekket.

Den øvre steile skrenten består av gneis, en hardere bergart enn fyllitt (Figur 3-3). Gneisen er forholdsvis oppsprukket med minst tre sprekkesett, hvorav ett er overflateparallelt og gir mulighet for utglidning langs bratte glideplan (Figur 3-4, Figur 3-5). Skrenten kan gi både store og mindre utfall ut fra observasjoner i helikopter av partier med ulik oppsprekingsgrad. Mindre utfall er antatt å ha en årlig løsnings sannsynlighet på ca. 1/10, mens større utfall en årlig løsnings sannsynlighet på ca. 1/100. Sår fra tidligere utfall var synlig på befaring (31.05.2022), hvorav ett ferskt steinsprang under Fyrjaeggi noe lenger sør (ikke utløp mot kraftverket), men i samme skrent med lignende forhold (Figur 3-6).



Figur 3-4. Potensielt utløsningsområde for steinsprang i fjellsiden øst for dagens koplingsstasjon med årlig utløsningssannsynlighet 1/10 markert i rødt. Generelt er det høy oppsprekkingsgrad over hele skrenten.



Figur 3-5 Potensielle ustabile blokkpartier i øvre del av fjellsiden øst for Alternativ Nord (B).



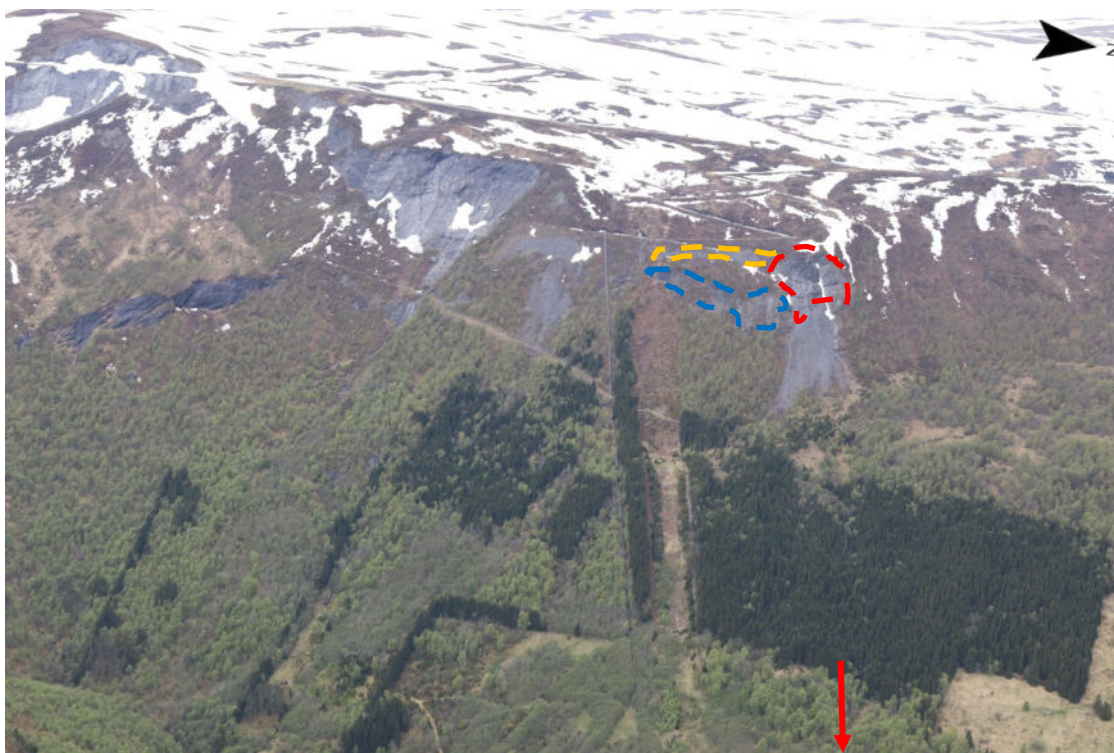
Figur 3-6. Et lite steinsprang har løsnet helt i toppen av skrenten øst for dagens koplingsstasjon (rød pil markerer løsneområdet). Skredet har gått i samme fjellside, men lenger sør enn dagens koplingsstasjon.

Resten av fjellsiden under den bratte toppskrenten består av fyllitt som er nederodert til nåværende helning av fjellsiden, med kun et svært tynt løsmassedekke over. Flere steder stikker bergpartier opp, med overflateparallele foliasjonsplan som gir utglidning av større og mindre flak (Figur 3-7). Hyppighet på utfall er anslått å være rundt hvert 10 – 100 år.

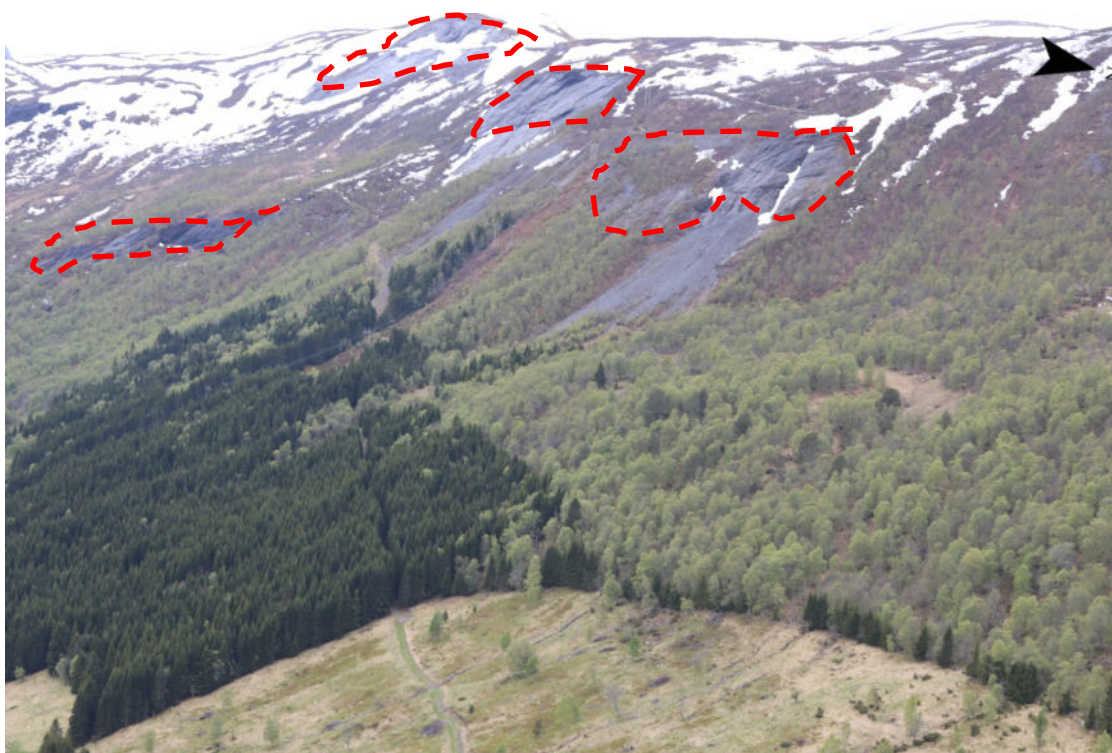


Figur 3-7. Fjellsiden i nedre del øst for dagens koplingsstasjon (her ca. 500-600 moh.) består av fyllitt. Berget har en skifrihet som gir tendens til å gli ut i flak slik som her er synlig fra tidligere utfall/sår.

Det er flere skurte bergpartier med tilhørende urdannelse også vest i påvirkningsområdet (Figur 3-8, Figur 3-9). Berggrunnen består av fyllitt og områdene er preget av eksfoliasjonsbrudd. De bratteste partiene er på ca. 55°.



Figur 3-8 Potensielle løснеområder for steinsprang med utløp mot kartleggingsområdene vest for Alternativ Sør markert. Rød pil peker mot Alternativ Sør. Ledningsnettets til koplingsstasjonen går igjennom løснеområdet.



Figur 3-9 Løsneområder for steinsprang vest for Alternativ Sør.

Vi antar at steinsprang løsner omtrent årlig i fjellsiden øst for dagens stasjonsområde med potensielle løsneområder hvor berget er oppsprukket. Løsneområdet vest for stasjonen har lavere utfallsvinkel og antas å være noe mindre utsatt for hyppige steinsprang enn fjellsiden øst for stasjonen. Mindre steinspranghendelser kan likevel antas å forekomme årlig i forbindelse med fryse- og tineprosesser. Veletablerte urer er også et tegn på aktive kildeområder. Større hendelser er her antatt å forekomme langt sjeldnere.

Ved planering av grunnen rundt Alternativ Sør antar vi at skrenten ned mot elva Vikja vil bli brattere og potensielt kunne gi steinsprang. Steinsprang herfra vil havne i elva og ikke påvirke kartleggingsområdet ovenfor.

3.1.3 Utredning av utløp

Ved befaring av Alternativ Nord (A) ble det observert både antatte steinsprangblokker og blokker med ukjent opprinnelse (Figur 3-10). Det er flere veletablerte urer nedenfor skrentene helt vest i påvirkningsområdet og enkelte steinsprangblokker (1-5 m³) ble observert ca. 50 m nedenfor urområdene. Området vest for karleggingsområdet består av både dyrket mark og innmarksbeiter, og det kan derfor antas at blokker har blitt fjernet. Det ble ikke observert steinsprangblokker innenfor Alternativ Nord (A).



Figur 3-10 Observerte blokker på innmarksbeite vest for Alternativ Nord (A) med ukjent opprinnelse. Blokkene er ca. 1 – 2 m³.

Ved befaring av Alternativ Nord (B) ble det observert gamle antatte steinsprangblokker i ytterkant av kartleggingsområdet (1-5 m³) (Figur 3-11). Blokkobservasjoner er vist i registreringskartet i Vedlegg E.



Figur 3-11 Mulige steinsprangblokker innenfor Alternativ Nord (B). Øvre bilde er tatt direkte øst for dagens koplingsstasjon. Nedre bilde, antatt steinsprangblokk til høyre for masten.

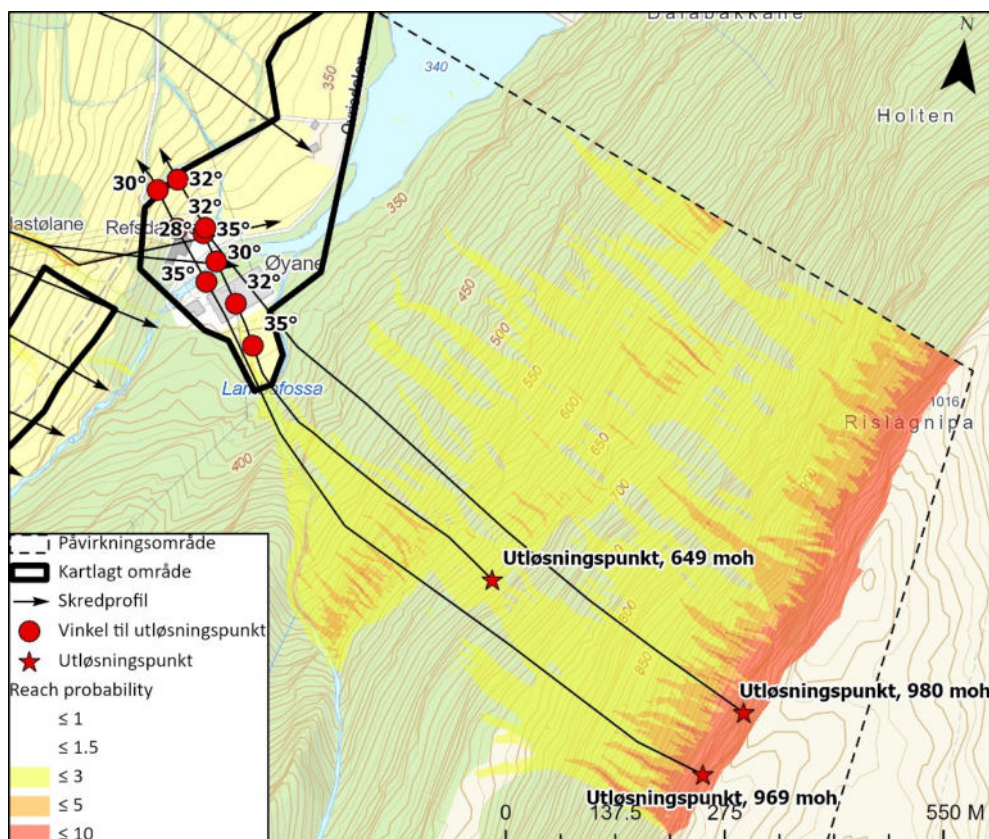
Ved befaring av Alternativ Sør ble det observert blokker (1-5 m³) både med antatt steinsprangoppriinnelse samt blokker med usikker oppriinnelse på jordene vest for kart-

leggingsområdene (se Vedlegg E for punkt). Området ved Alternativ Sør er brukt som innmarksbeite og det ligger rester etter gamle steingjerder og grunnmurer (Figur 3-12). Det er derfor rimelig å anta at blokker på innmarksbeitene kan være flyttet på.

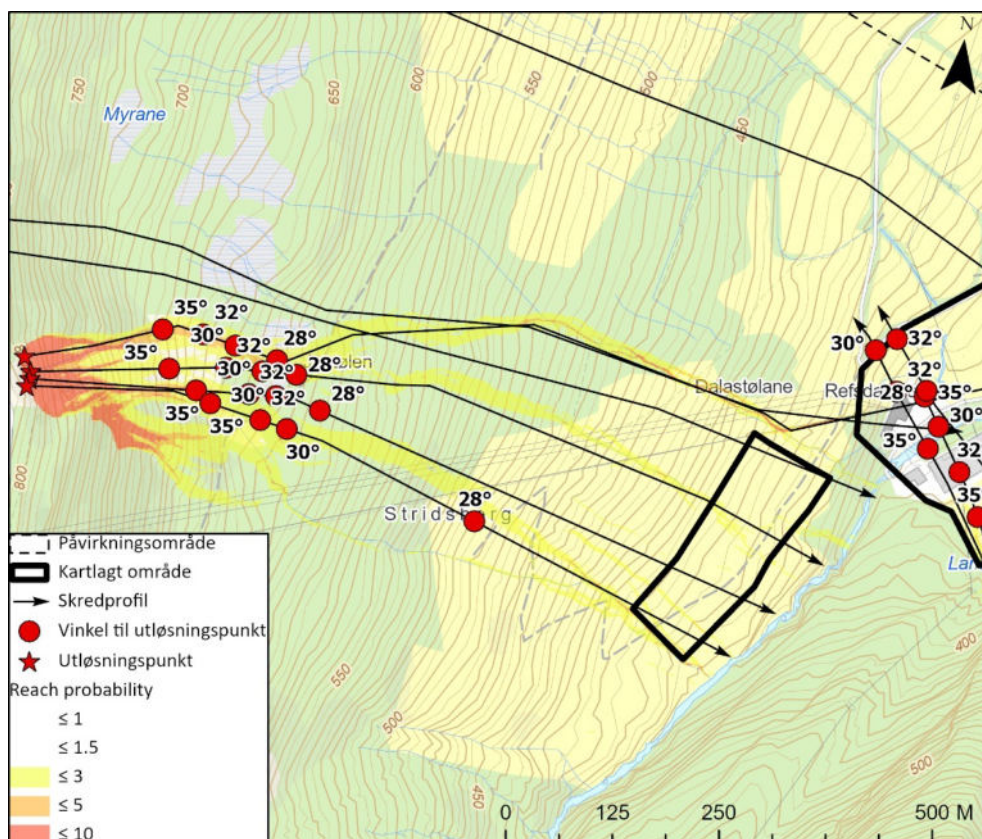


Figur 3-12 Gamle steingjerder ved Alternativ Sør.

Modellering av steinsprangutløp er gjort med verktøyet Rockyfor3D (se beskrivelse av modellen i Vedlegg B). Modellen er kjørt med 1 m terrengmodell og 5 m³ elliptiske blokker. Figur 3-13 og Figur 3-14 viser resultatet av simuleringen for begge kartleggingsområdene. Simuleringer med 1 m³ blokker er også utført (Vedlegg C). Simuleringene med mindre blokkvolum ga kortere utløp. I tillegg er siktevinkel fra toppen av mulige utløsningsområder undersøkt, da litteratur for empiriske sammenhenger fra tidligere steinsprang antyder at maksimale utløp kan være rundt 32°-35° fra topp løseområde (se Figur 3-14 samt Vedlegg C).



Figur 3-13 Resultat av utløpsberegninger for steinsprang med modellverktøyet Rockyfor3D og profil som beregner siktevinkel fra toppen av potensielle utløsningsområder for Alternativ Nord (A). Resultatet fra Rockyfor3D viser sannsynligheten for at en blokk havner i en gitt celle. Bedre oppløsning på modelleringsresultater er vist i Vedlegg C.



Figur 3-14 Resultat av utløpsberegninger for steinsprang med modellverktøyet Rockyfor3D og profil som beregner siktevinkel fra toppen av potensielle utløsningsområder for Alternativ Sør. Resultatet fra Rockyfor3D viser sannsynligheten for at en blokk havner i en gitt celle. Bedre oppløsning på modelleringsresultater er vist i Vedlegg C.

3.1.4 Når steinsprang inn i kartleggingsområdet?

Resultat fra simuleringer i Rockyfor3D og bruk av siktevinkler fra topp av mulige løsningsområder viser at Alternativ Nord (B) ligger innenfor forventede maksimale steinsprangutløp. Steinspranghendelsen mot dagens stasjon på 80-tallet som står omtalt i EFLA (2014) tyder på at dette ikke er svært sjeldne hendelser. Gamle skredblokker ble observert sørøst i Alternativ Nord (B), men rydding av blokker på dyrket og opparbeidet mark har antageligvis skjedd. Steinsprang mot Alternativ Nord (A) fra vest vurderes ikke å kunne nå kartleggingsområdet. NGI antar at årlig sannsynlighet for at steinsprang når ytre deler av Alternativ Nord (B) (nærmest fjellsiden mot øst) er større enn 1/100.

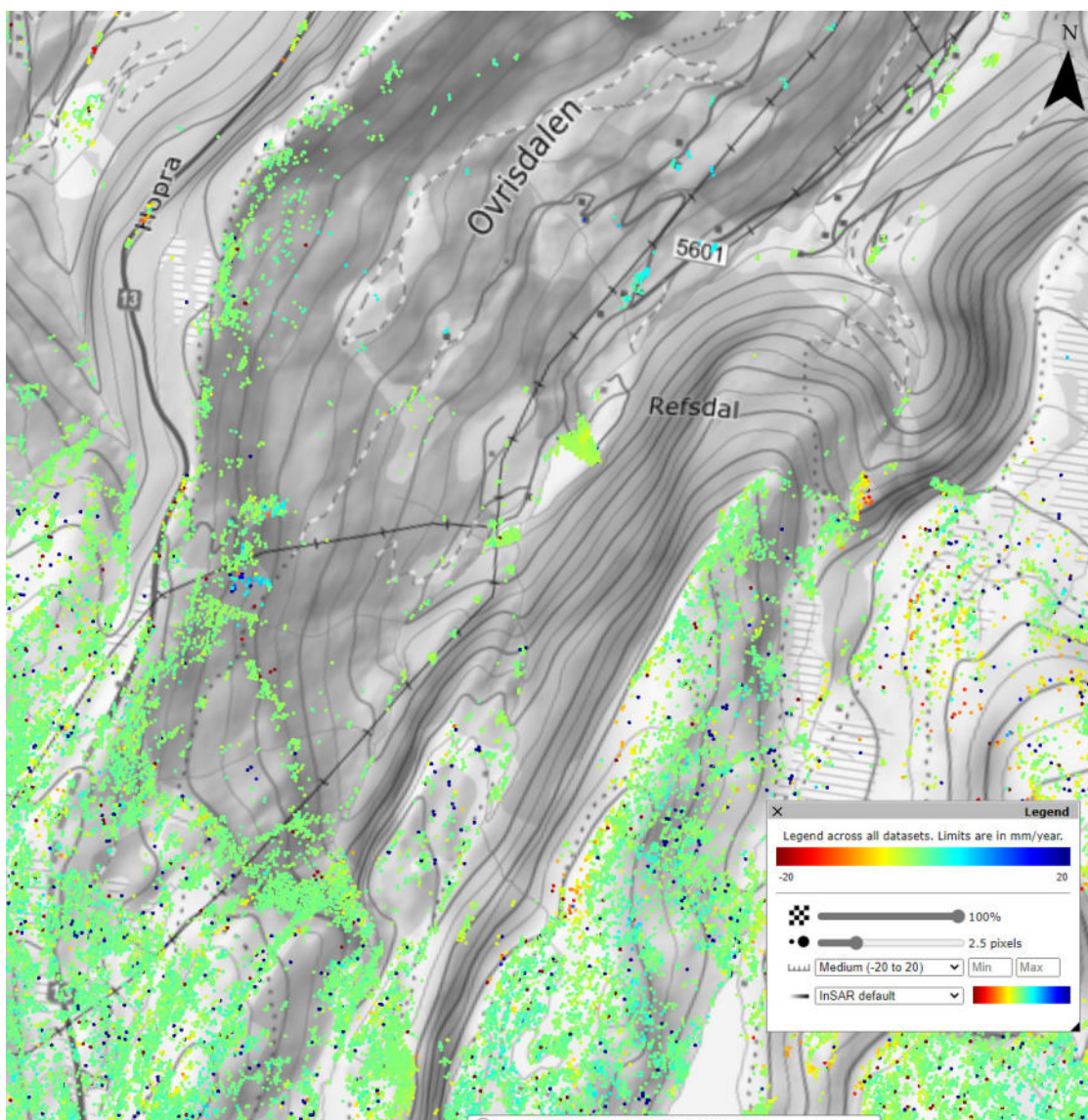
Simuleringsresultatene viser at Alternativ Sør også ligger innenfor forventede maksimale steinsprangutløp. De lengste utløpene følger raviner i terrenget i simuleringene, og det er lav sannsynlighet for at faktiske utløp vil ha så lange utløp. Derimot kan steinsprangblokker remobiliseres av andre skredtyper og føres mot kartleggingsområdet. NGI antar at årlig sannsynlighet for at steinsprang når Alternativ Sør er sjeldnere enn 1/5000.

3.2 Steinskred

3.2.1 Er steinskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Det er berg brattere enn 45° i fjellsidene på begge sider av kartleggingsområdene. Den øvre skrenten øst for dagens koplingsstasjon hvor steinskred potensielt kan forekomme er ca. 60 m høy med høy grad av oppsprekking. Observasjoner under helikopterbefaring ga ikke indikasjoner på strukturer som gir opphav til store ustabile partier som er sannsynlig å komme ned i ett stykke som et steinskred.

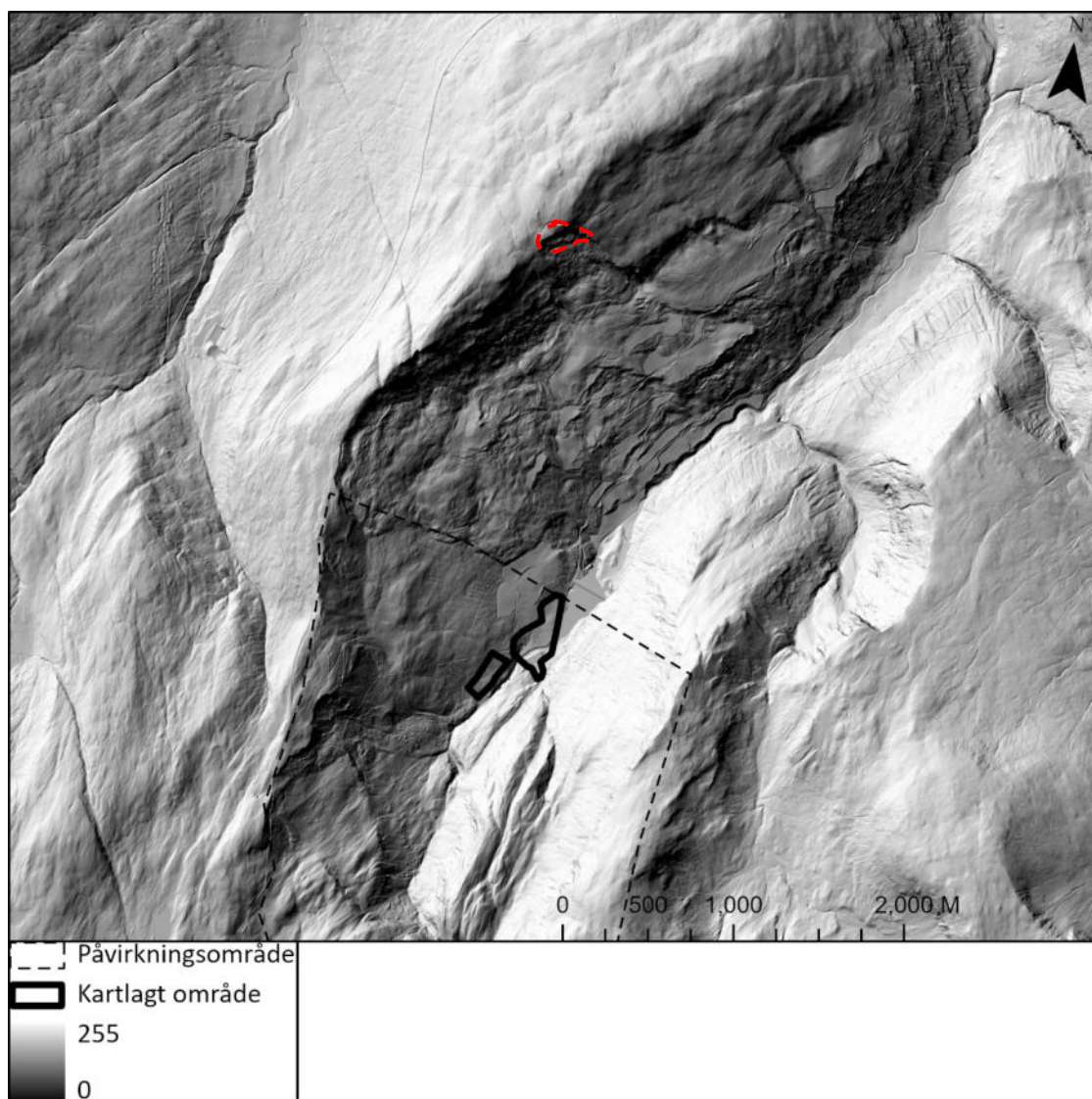
InSAR Norge tjenesten har ikke data for deler av det aktuelle området og gir heller ingen indikasjoner på steinskred (Figur 3-15). Figur 3-15 viser lite bevegelse, men noe bevegelse i åpen ur under skrenter, spesielt vest for Alternativ Sør. Det er heller ikke her observert åpne sprekker under helikopterbefaring. Bevegelsene kan skyldes sig i fylltitten som gjør at blokker beveger seg.



Figur 3-15 Bakkebevegelser fra InSAR Norge (NGU, 2022).

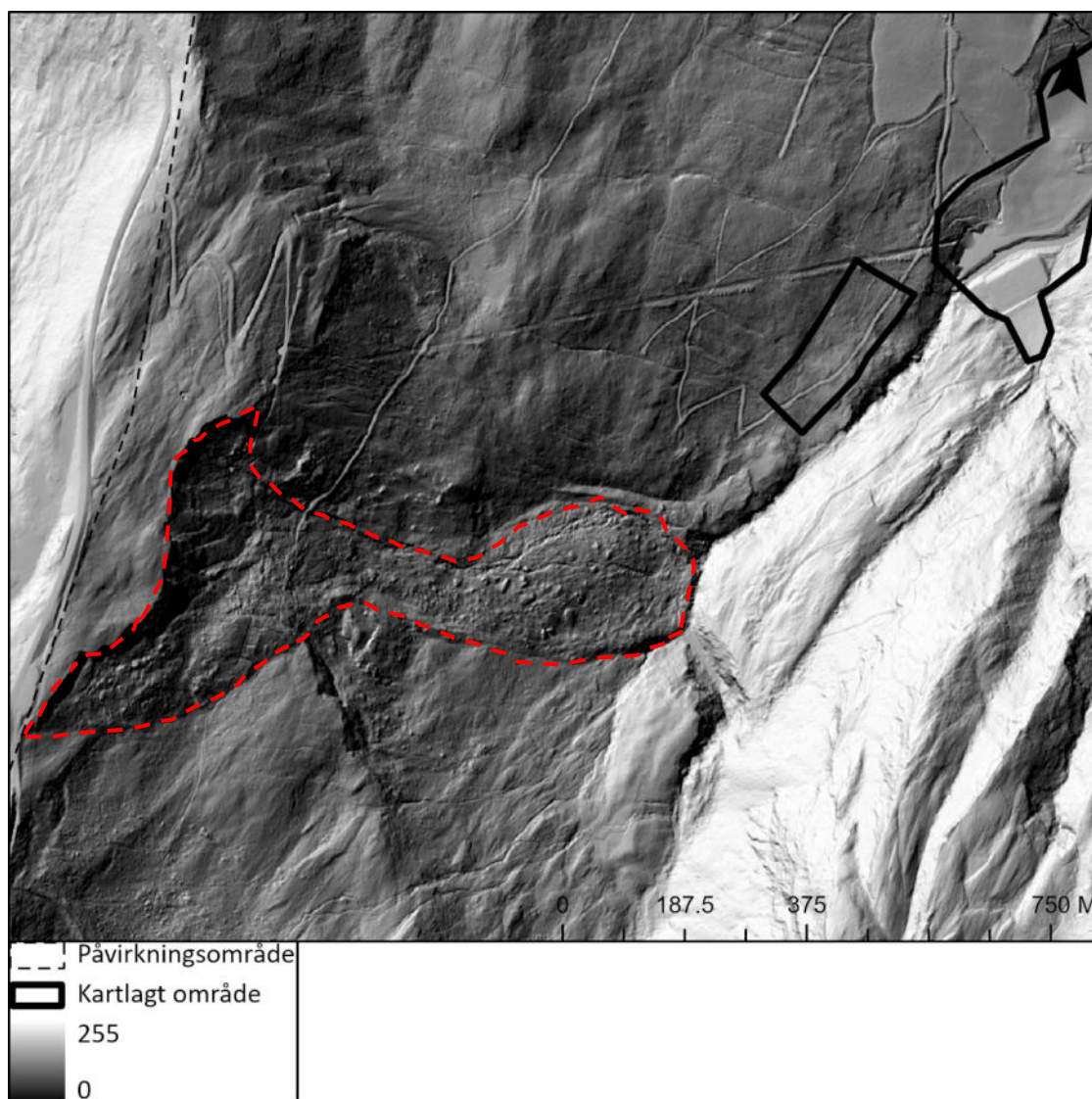
Fra fjellskyggekart er det observert sig fra fjellsiden nordvest for de kartlagte områdene (Figur 3-16). Fyllitt er en myk bergart og sig regnes som en typisk prosess. Med bakgrunn i tilsynelatende lite bakkebevegelse er ikke sig antatt å ha en spesiell innvirkning på kartleggingsområdene.

Figur 3-16 viser det ustabile fjellpartiet Ovriseggi (fjellskred) kartlagt av NGU (Hermanns m.fl., 2021). Ovriseggi er klassifisert med høy faregrad, men med lav risiko fordi det sannsynligvis ikke vil treffe noen bebyggelse.



Figur 3-16 Sig i fjellsiden nordvest for kartleggingsområdene med det ustabile fjellpartiet Ovriseggi (markert i rødt), (multidirectional hillshade, 1 m oppløsning).

Det er i tillegg avsetninger etter et historisk fjellskred sørvest for kartleggingsområdene (Figur 3-17).



Figur 3-17 Fjellskredavsetning sørvest for kartleggingsområdene (rødt stiptet område). Grovt anslått volum er ca. 2 000 000 m³, (multidirectional hillshade, 1 m oppløsning).

Videre utredning av steinskred er ikke utført basert på manglende løsneområder for steinskred ovenfor kartleggingsområdene.

3.3 Snøskred

3.3.1 Er snøskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Fjellsiden øst for Alternativ Nord (B) er bratt helt fra dalbunnen og opp til toppen av Fyrjaeggi/Rislågnipa. Snøskred antas her å løsne hyppig, og en rekke smale renner og sår i vegetasjonen er synlige nedover fjellskråningen. Ved overgangen til dalbunnen flater terrenget brått ut.

Fjellsiden vest for Alternativ Sør har svaberg hvor snøskred potensielt kan løsne. Det er observert skader på trærne nedenfor svabergene.

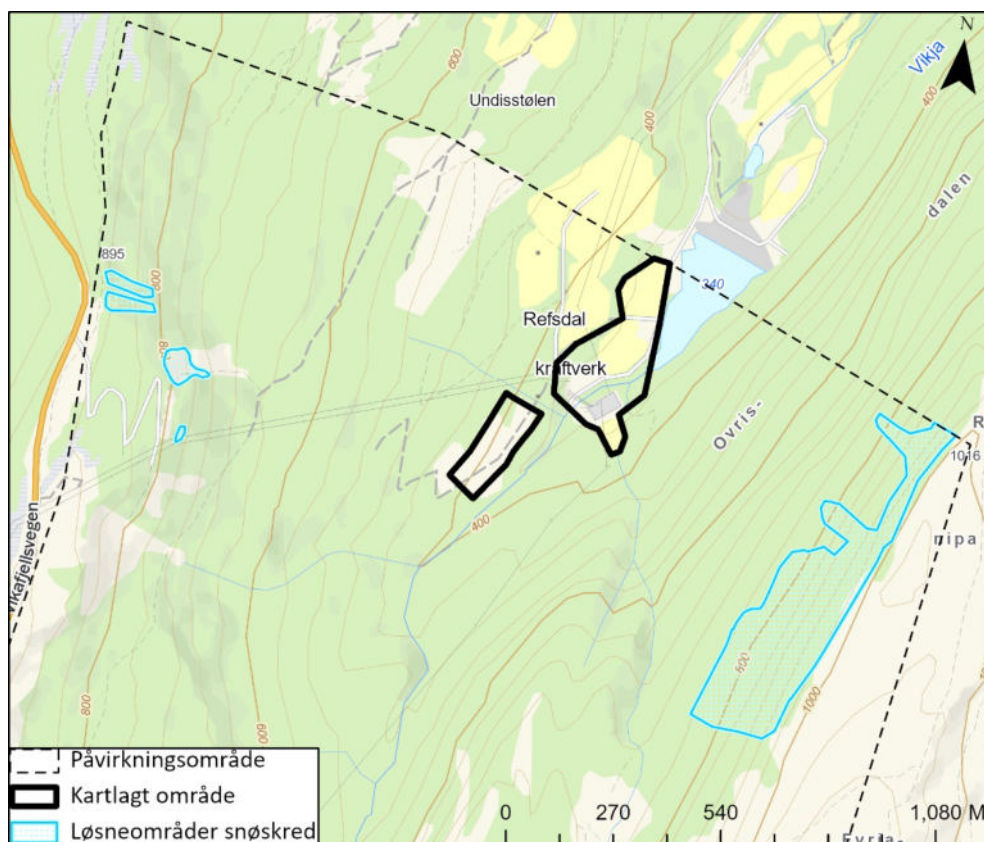
3.3.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Klimaforhold viser gjennomsnittlig maksimal snøhøyde rundt 2 m med et maksimum i observasjonsperioden på rundt 3.7 m i høyde av det mest utsatte utløsningsområdet (Figur 2-31). Returverdier for 3-døgns nysnø tilvekst HNW med 100-års returperiode er rundt 135 cm. I tillegg er mest aktuelle utløsningsområder utsatt for fokksnøavsetninger fra østlige vindretninger (jfr. Figur 2-33). Basert på den relativt korte observasjonsperioden må man anta at data for lange returperioder kan være misvisende. Spor i skogen indikerer også skredaktivitet i fjellsiden øst for stasjonsområdet (se Figur 3-21).

Figur 3-18 viser løsneområder som var spesielt fremtredende ved befarings. De inntegnede løsneområdene øst for Alternativ Nord (B) har relativt jevnt terreng fra øverste skrent (ca. 1000 moh.) og ca. 100 m ned. For disse løsneområdene har vi utført simuleringer. Løsneområdet "RA-av-004" (se Tabell 3-2) er avgrenset av topografien og utvidelsen av dette løsneområdet er begrenset. Snøskred fra resterende løsneområder kan ikke utelukkes, men trolig oppstå som sjeldnere hendelser.

Dagens vegetasjonsforhold i løsneområdene øst for Alternativ Nord (B) er ikke tett nok til å virke stabiliserende på snødekket øverst i løsneområdet.

Særlig i forhold til sikkerhetsklasse S3 (nominelle årlig sannsynlighet større enn 1/5000) er snøskred en aktuell prosess i området. Antatt sannsynlighet for utløsning av store snøskred (relative størrelse $\geq R4$, SWAG, 2016) er i størrelse av 1/1000 per år.



Figur 3-18 Inntegnede polygoner er spesielt fremtredende løsneområder observert under befarig. Vi har modellert basert på disse.



Figur 3-19 Potensielle utløsningsområder for snøskred under den øverste brattkanten øst for Alternativ Nord (B) markert i rødt.



Figur 3-20 Potensielt utløsningsområdet for snøskred under den øverste brattkanten øst for Alternativ Nord (B).



Figur 3-21 Skogskader indikerer snøskredaktivitet (øst for Alternativ Nord (B)).



Figur 3-22 Svabergene er potensielle løseområder for snøskred. Nedenfor svaberget lengst nord i bildet ble det observert skader på trær etter snøskred. Rød stiplet linje angir løseområde som kan gi snøskred med retning mot Alternativ Sør.

3.3.3 Utredning av utløp

For utredning av utløp er snøskred modellert fra fem potensielle løsneområder ovenfor kartleggingsområdene med modellverktøyet SAMOS-AT og RAMMS::AVALANCHE (RAMMS). Vi har brukt modifisert Coulomb friksjon inkl. medrivning i skredbanen for simuleringer i SAMOS-AT (Vedlegg B). Eksempler på brukte inngangsparametere for simuleringer er gitt i Tabell 3-1 og Tabell 3-2. I tillegg ble også en statistisk/topografisk modell kalt α/β -modellen som alternativt verktøy brukt for å vurdere utløpslengde (Lied & Bakkehøi, 1980).

Valgte bruddhøyder i løsneområdene er basert på interpolerte klimadata for området. Snøhøyder i løsneområdene vil variere basert på terreng- og værforhold. Fokksnø vil for eksempel kunne bidra til større snøhøyder og kan bidra til oppbygging av skavler. Vi har kjørt modeller med ulike bruddhøyder for å ta høyde for ulike scenarioer (1 m, 1,5 m, 2 m og 2,5 m). For et 1/5000 scenario kan vi anta en bruddhøyde på mellom 2 – 3 m basert på klimadata. Bruddkanten antas også å øke betydelig i utbredelse og kan inkludere større deler av fjellsiden, både vest og øst for kartleggingsområdene.

Skogtettheten varierer i utløpsområdet, men består hovedsakelig av plantet granskog. Det antas at slik skogen står i dag vil den ha en bremsende effekt på snøskred med sannsynlighet 1/100 og 1/1000. Dagens vegetasjonsforhold er brukt som inputparameter i modellene. For et 1/5000 scenario vil skog ha mindre betydning for rekkevidden.

Tabell 3-1 Parametere for modellkjøring snøskred, SAMOS-AT.

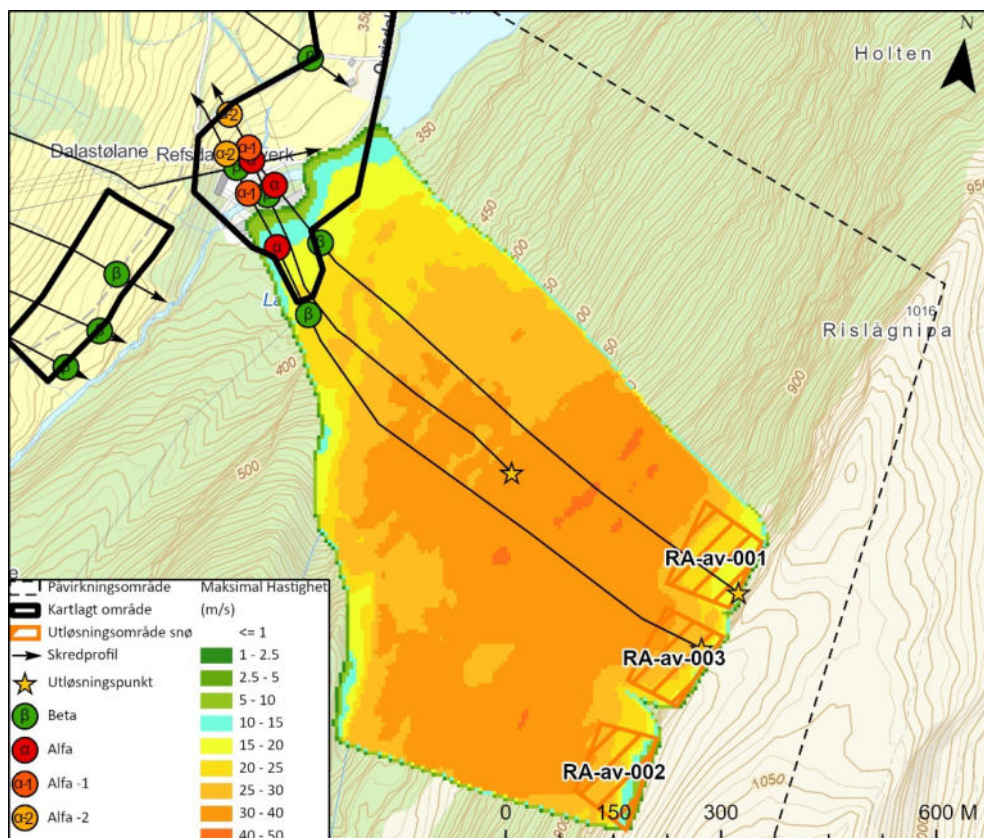
Modell	Utløsnings- område	Coulomb friksjons- parametere μ	Brudd høyde (m)	Volum (1000 m ³)	Maks erosjons- dybde (m)	dN (m ⁻¹)
SAMOS-AT	RA-av-001	0,3	1,5	24,3	0,25	0,008
	RA-av-002	0,3	1,5	24,5	0,25	0,008
	RA-av-003	0,3	1,5	24,4	0,25	0,008

Tabell 3-2 Parametere for modellkjøring snøskred, RAMMS. Friksjonsparametere ble produsert automatisk i RAMMS basert på terrengmodellen og valgte globale parametere.

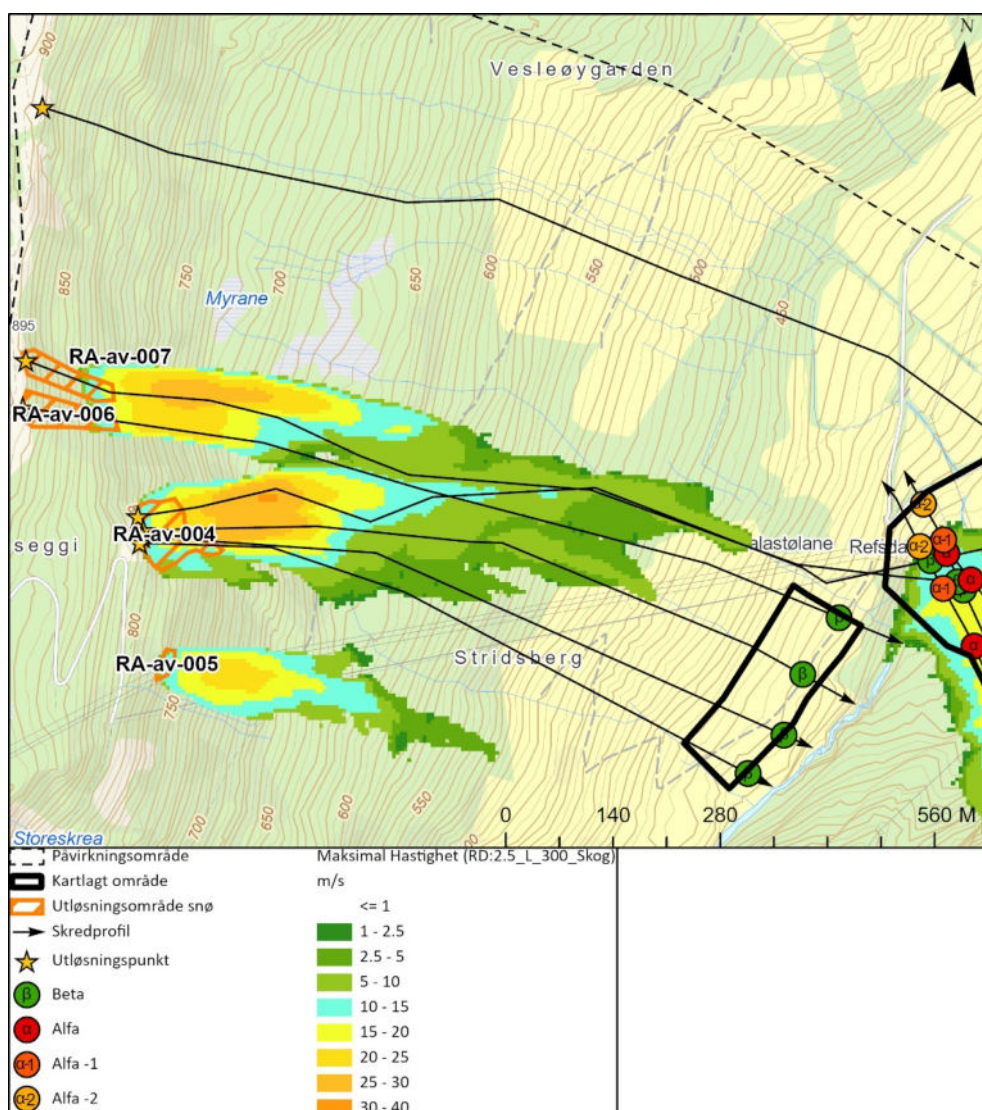
Modell	Utløsnings- område	Globale parametere		Bruddhøyde (m)	Volum (1000 m ³)
		Returperiode	Volumkat.		
RAMMS	RA-av-007	300	Large	2,5	9,5
	RA-av-006	300	Large	2,5	9,3
	RA-av-004	300	Large	2,5	18,5
	RA-av-005	300	Large	2,5	1,6

Figur 3-23 og Figur 3-24 viser eksempler på snøskredsimuleringer. Figurene viser samlinger av tre (Figur 3-23) og to (Figur 3-24) individuelle simuleringer. Simulerings-

resultater for Simulering 2 og 3, samt bedre oppløsning på resultatene fra SAMOS og Simulering 1 i RAMMS er gitt i Vedlegg C.



Figur 3-23 Eksempel på resultat av simulering av tre snøskred i SAMOS-AT (kun den tette delen av skredet). Antatt årlig sannsynlighet i respektive simulasjoner er i størrelse 1/300 per år. Utløpslengder er også kalkulert fra α/β -modellen. Bedre oppløsning på modelleringsresultater er vist i Vedlegg C.



Figur 3-24 Eksempel på resultat av simulering av to snøskred i RAMMS. Antatt årlig sannsynlighet i respektive simulasjoner er i størrelse 1/300 per år. Globale parametre: 300 y, Large (se Tabell 3-2, Simulering 1). Utløpslengder er også vurdert fra α/β -modellen. Bedre oppløsning på modelleringsresultater er vist i Vedlegg C.

Modellerte utløpsberegninger for de ulike sannsynlighetsscenarioene baserer seg på beregninger vi har utført med inputparametre for sjeldne skred. Hyppigere hendelser (1/100) vurderer vi at vil få noe kortere utløpslengder enn de modellerte basert på spor i terrenget. Sjeldnere hendelser (1/5000) er mer krevende å vurdere blant annet på grunn av begrensede dataserier for værdata. Derimot er det erfaringsmessig forventet at sjeldne hendelser har større rekkevidde enn hyppigere hendelser som betyr at utløpslengder i et 1/5000-scenario vil være større enn for årlige sannsynligheter på 1/100 og 1/1000.

Trykkklaster fra snøskred beregnes fra skredets hastighet. I beregninger defineres dynamisk trykk som:

$$P = \rho v^2,$$

hvor v er skredhastighet og ρ er tetthet. I beregningene er det brukt en tetthet på ca. 300 kg/m³ for den tette delen av skredet.

Tabell 3-3 viser beregningsparametere samt resultater for den tette delen av skredet. Vi har tatt utgangspunkt i hastigheter fra snøskredsimuleringene i RAMMS og SAMOS.

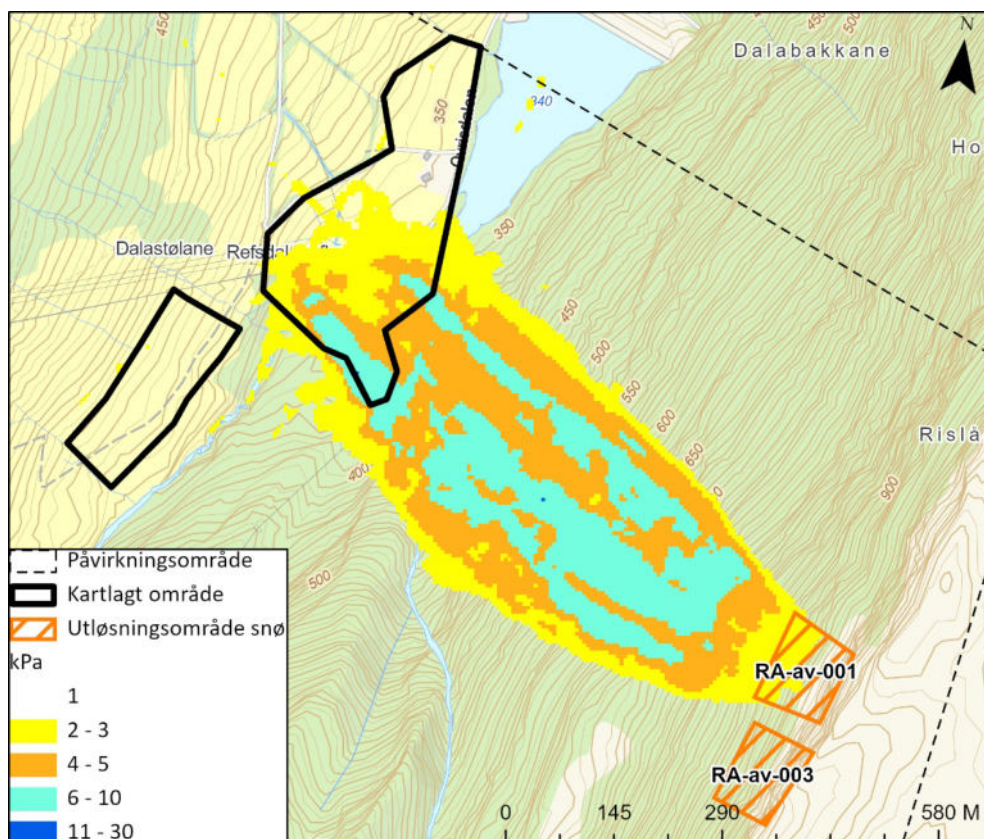
Tabell 3-3 Anslått dynamisk trykk mot kartleggingsområdene fra snøskred fra øst (faste skred-masser).

Kartleggingsområde	Skredhastighet, v [m/s]	Tetthet, ρ [kg/m ³]	Dynamisk trykk, P [kPa]
Alternativ Nord (A)	5 - 10	300	7,5 - 30
Alternativ Nord (B)	20	300	120
Alternativ Sør	-	-	-

Mindre våtsnøskred kan løsne i fjellsidene og følge forsenkninger i terrenget. Skredene kan dra med seg materiale ned til kartleggingsområdene. Vi antar at slike skred følger flom- og sørpeskredbaner som vi beskriver nærmere i respektive kapitler. Slike skred er ikke dimensjonerende for faresonene.

Ved tørre og store snøskred kan lufttrykket nær skredbanen bli så stort at det oppstår en snøsky. Snøskyen er den suspenderte delen av snøskredet. Lav tetthet gjør at snøskyer følger terrenget i mindre grad enn den tette delen av skredet (samt delvis den fluide delen). Snøskyens tetthet varierer med avstanden til den tette delen av skredet, men typisk opptil 10 kg/m³.

Figur 3-25 viser et eksempel fra en simulering av skredvind fra et løsneområde nedenfor Rislågnipa som vi anser som mest aktuelt basert på terrenget. Skred kan raskt få stor hastighet pga. stor fallhøyde (~ 700 m) og lite vegetasjon i løsneområdet. I situasjoner hvor det kommer stor snøpålaging over potente lag kan snøskyer bli betydelige, spesielt hvis snødekket er sammenhengende langs fjellsiden. Trykk fra skredvind er beregnet til å være mellom 1 – 10 kPa, hvor trykket minker med utløpsdistansen.



Figur 3-25 Beregninger for skredvind modellert i SAMOS-AT. Antatt nominell årlig sannsynlighet er i størrelse 1/1000.

Tabell 3-4 gir en grov oversikt over forventet skadevirkning avhengig av trykk fra skredvind. De enkelte verdier i tabellen må anses som tilnærmet størrelsesorden.

Tabell 3-4 Skredtrykk fra snøskred og potensielle materielle bygningsskader (Sovilla, 2015).

Skredtrykk [kPa]	Skadevirkninger på
2 – 4	Vinduer eller svake dører
3 – 6	Vegger og tak
12 – 24	Trekonstruksjoner
25 – 45	Murverk
Rundt 100	Fullt utviklet skog
> 200	Flytter store steinblokker

Påvirkninger av trykk på mer enn 1 kPa kan generelt betraktes som farlige for menneskers liv og helse utendørs uten annen beskyttelse. Erfaringsgrunnlaget mht. sårbarhet av personer innendørs er lite, men sårbarheten avhenger i stor grad fra bygningsstruktur.

3.3.4 Når snøskred inn i kartleggingsområdet?

Snøskred mot Alternativ Nord (A) fra vest anser vi som lite sannsynlig slik vegetasjonen står i dag, samt avstand fra løseområder. Snøskred fra Rislågnipa i øst mot Alternativ Nord (A) vil hovedsakelig stoppe i Vikja, men basert på beregninger samt tilfeller hvor snøskred har hatt lange utløp også på vann, kan vi ikke i dette tilfellet utelukke at en kombinasjon av faste skredmasser (men også medrevet vegetasjon) og skredvind kan krysse elva i sjeldne tilfeller. Vi vurderer derfor at nominell årlig sannsynlighet for at snøskred kan nå Alternativ Nord (A) er 1/1000 for en kombinasjon av faste og fluide masser. Kombinasjonen av faste og fluide masser kan potensielt nå områder på høyde med Ovrisdalsveien med et dynamisk trykk på opptil 30 kPa. På grunn av mindre friksjon fra terrenget kan snøskyer få høyere hastigheter enn de tette delene av skredet og snøskyer kan forventes å nå frem til jordbruksområdene på vestsiden av Vikja (Alternativ Nord (A)) med en årlig sannsynlighet større enn 1/5000 med et dynamisk trykk på opptil 10 kPa. Snøskyers utløpslengder er avhengig av egenskaper til den faste delen av skredet.

Resultatet fra snøskredsimuleringer og rekkeviddeberegninger med α/β -modellen indikerer at den tetten delen av snøskred som løsner i fjellsiden øst for Alternativ Nord (B) kan treffe kartleggingsområdet. Forholdene ligger til rette for oppsamling av snø i de øverste klippene. Skogen viser tydelige tegn på skredbaner, og det er få tegn til nytilvekst av trær nedenfor de bratteste skrentene noe som tyder på hyppige hendelser. Antatt årlig sannsynlighet for at den tette delen av snøskred kan nå Alternativ Nord (B) er i størrelse 1/1000, og forventet dynamisk trykk er på ca. 120 kPa. Ved oppbygging av en snøsky vurderer vi at nominell årlig sannsynlighet for treff er 1/5000 med et dynamisk trykk som kan overstige 10 kPa avhengig av egenskapene til den tette delen av skredet.

Resultatet fra snøskredsimuleringer, rekkeviddeberegninger med α/β -modellen samt observasjoner for Alternativ Sør viser at den tette delen av snøskred som løsner i fjellsiden ovenfor kartleggingsområdet ikke vil nå Alternativ Sør slik skogen står i dag. Skredmassene forventes å stanse på den slake myren nedenfor løseområdet (RA-av-004). Trolig vil skred i et 1/1000 scenario ha rekkevidde til ca. kote 600 og for et 1/5000 scenario til ca. kote 550. Alternativ Sør har lavere årlig sannsynlighet enn 1/5000 for å treffes av den suspenderte delen av et snøskred (Tabell 3-3). Snøskyer fra vest er lite aktuelt for kartleggingsområdene.

Faren for snøskred til Alternativ Sør fra øst for elva Vikja er også utredet. Det er hovedsakelig tett skog ned til elva, med unntak av en åpen strømlinjetrase som går langs elva og ned til dagens koplingsstasjon. Snøansamling kan oppstå her, men pga. helningen vil skred ha begrenset rekkevidde og vil ikke krysse elva.

3.4 Jordskred

3.4.1 Er jordskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Ut ifra detaljert terrengmodell er det identifisert potensielle utløsningsområder for jordskred, dvs. områder som har løsmasser og er brattere enn 20°.

3.4.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

I skråningen øst for Alternativ Nord (B) er det i hovedsak berg i dagen eller liten løsmasseoverdekning. Løsmassedekket er trolig tynt pga. bratt helning. En kombinasjon av en del store trær på tynt jordsmonn kan gi økt sannsynlighet for utløsning (mer labile forhold) av jordskred.

En grunn utglidning i løsmassedekket kunne observeres i fjellsiden øst for Alternativ Nord (B) på befaring (Figur 3-26). Mindre jordskred kan også skje i sammenheng med våte snøskred og steinsprang (Figur 3-27).



Figur 3-26 Grunn utglidning i det tynne løsmassedekket i den østlige fjellsiden.



Figur 3-27 Mindre jordskred utløst av steinsprang øst for Alternativ Nord (B).

Også fjellsiden vest for Alternativ Nord (A) og Alternativ Sør har tynt løsmassedekke (Figur 3-28). I tillegg er åpne jorder med bratt helning erfaringsmessig potensielle løsne-områder for jordskred.



Figur 3-28 Eksempel på tynt løsmassedekke vest for Alternativ Sør.

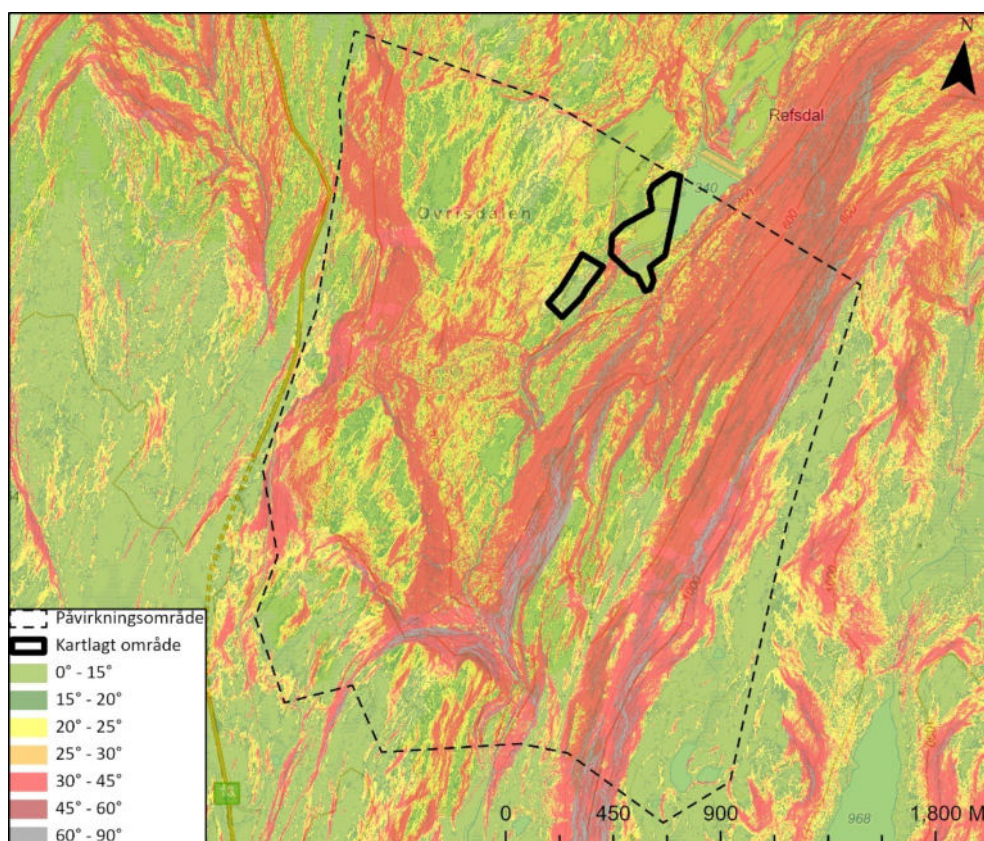
NGI antar at årlig sannsynlighet for utløsning av jordskred er større enn 1/50 for fjellsiden øst for Alternativ Nord (B) og større enn 1/100 for fjellsiden vest for Alternativ Nord (A) og Alternativ Sør.

3.4.3 Utredning av utløp

På grunn av det tynne løsmassedekket i fjellsiden øst for Alternativ Nord (B) vil jordskred trolig ikke oppnå store volum, og ikke få utløp forbi/over bekken som går langs oversiden av jorden sør for eksisterende koblingsanlegg.

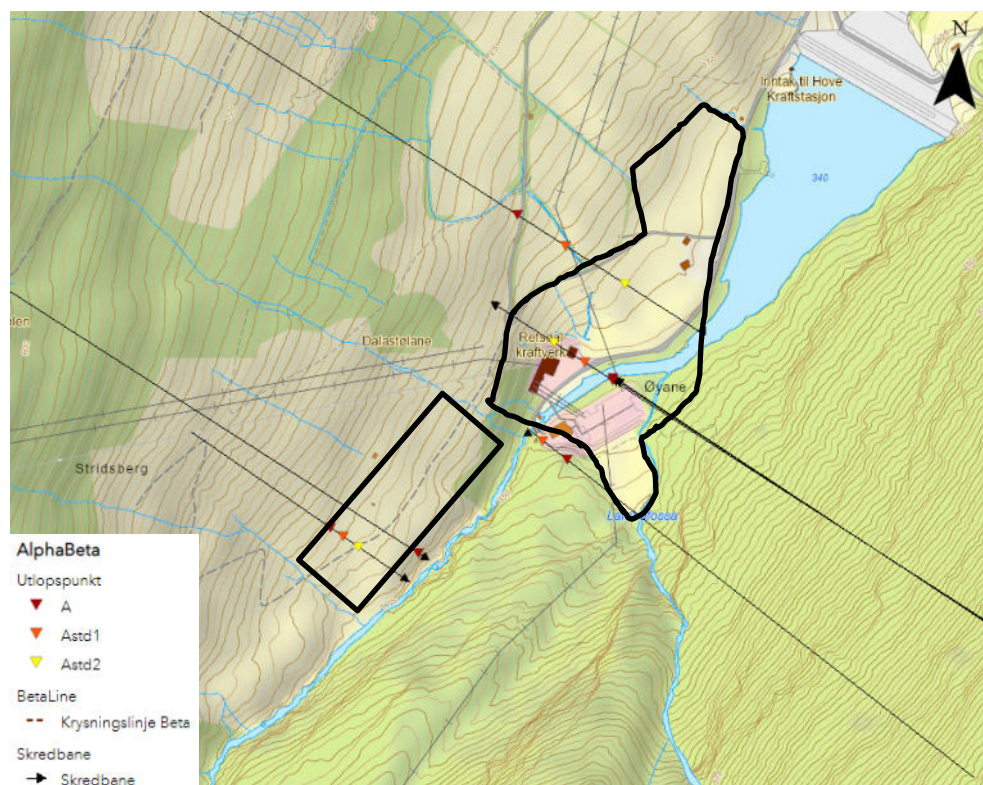
I fjellsiden vest for Alternativ Sør er løsmassedekket hovedsakelig tynt med områder med bart fjell. Lokale utglidninger kan oppstå nedenfor myrområdene mellom 600 – 650 moh. Her er løsmassedekket noe tykkere, men helningen er lav og potensielle jordskred vil ha begrenset rekkevidde (Figur 3-29). Lokale utglidninger i innmarksbeitene kan oppstå, men vil også her ha begrenset rekkevidde pga. lav helning.

Skog i områder med tynt løsmassedekke kan forårsake ustabile forhold. Dette er spesielt gjeldende for løsneområdene øst for Alternativ Nord (B). Skog i områder med tykkere løsmassedekke virker forankrende og vil bidra til å stabilisere løsmassene. Skogen mellom kote 600 – 650 vest for kartleggingsområdene vil derfor trolig bidra til å stabilisere dekket.



Figur 3-29 Oversikt over terrenghelning i kartleggings- og påvirkningsområdet.

De observerte konvekse landformene i Alternativ Sør kan potensielt stamme fra jordskred. Utløp er derfor beregnet med α/β -modellen for jordskred (Figur 3-30).



Figur 3-30 Beregnede utløp fra α/β -modellen for jordskred (utført i NVEs beregningsverktøy). Kartleggingsområdene er inntegnet omtrentlig.

3.4.4 Når jordskred inn i kartleggingsområdet?

Ut ifra observasjoner og tolkninger av skyggekart anser vi faren for jordskred ned til kartleggingsområdene som liten. Løsmassedekket i fjellsidene vest og øst for de kartlagte områdene varierer i tykkelse, men det er hovedsakelig tynt i områder med aktuell helning slik at potensielle jordskred blir grunne med begrenset rekkevidde. Observerte avsetningsformer er trolig fra kort tid etter siste istid. Sjeldne hendelser vil ha lenger rekkevidde enn lokale utglidninger, men vi anser trykkvirkningene/lastene fra et slikt scenario til å være små og ikke ha betydning for eventuell bebyggelse. Beregnede utløp fra α/β -modellen er konservative. Vestlig dalside har undulerende topografi rundt 20° noe som slår inn med lange utløp i α/β -modellen.

For Alternativ Nord (A) og Alternativ Sør kan mindre lokale utglidninger i forsenkninger trolig forekomme hyppigere enn hvert 100. år, men større utglidninger med lang rekkevidde ned til kartleggingsområdene er vurdert å ha årlig sannsynlighet lavere enn 1/5000. For Alternativ Nord (B) er det vurdert at jordskred med årlig sannsynlighet 1/5000 kan nå kartleggingsområdet.

Erfaringsmessig vil menneskelige inngrep som for eksempel utfyllinger kunne gi opphav til lokale utglidninger.

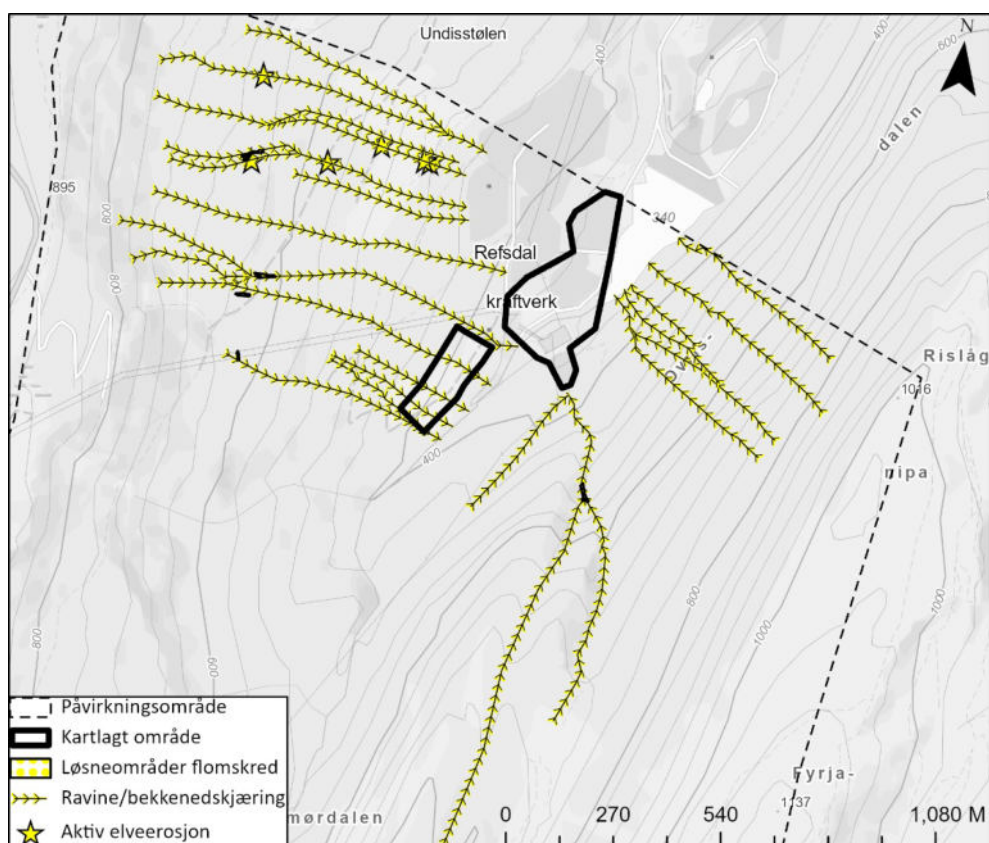
3.5 Flomskred

3.5.1 Er flomskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Terreng brattere enn rundt 15° med løsmasser og som kan gi opphav til overflate-avrenning er potensielle løsneområder for flomskred. De klimatiske forholdene med mye nedbør og perioder med intens snøsmelting indikerer mulighet for skredaktivitet der terrengforholdene ligger til rette for det.

3.5.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Det er generelt vanskelig å definere nøyaktig plassering av løsneområder for flomskred, men flomskred starter først og fremst i aktive bekkeløp og raviner (markert i registreringskart). Det renner flere bekker i dalsidene ovenfor kartleggingsområdene som kan rive med seg løsmasser i flomsituasjoner og som derfor er potensielle flomskredbekker (Figur 3-31).



Figur 3-31 Potensielle baner / utløsningsområder for flomskred. Dreneringsløp er potensielle flomskredbaner og flomskred kan starte i disse.

Det er flere myrområder ovenfor Alternativ Nord (A) hvor knekkpunkter til brattere terreng kan bli løsneområder for flomskred. Det er flere raviner i dalsiden og under befaring ble det observert vannføring i disse. Studier av flybilder og dreneringsanalyser

viser også dreneringsveier over jordene ned mot Alternativ Nord (A). Ved kraftig nedbør kan øvre del av jordsmonnet på jordene raskere bli vannmettet enn terrenget rundt pga. lite vegetasjon. Dette kan føre til at vannføring utenom eksisterende løp, men vil trolig ha lav masseførende kapasitet. Det er kun en bekk som renner inn i og gjennom Alternativ Nord (A) (Figur 3-32). Denne må nødvendigvis håndteres innenfor planområdet når dette skal bearbeides til en sammenhengende flate. Oppstrøms planområdet anbefales bekken vurdert mht. erosjonsforhold, som grunnlag for å vurdere behov for erosjonssikring. Det også tas hensyn til eventuell omlegging av veier. Vi vurderer årlig sannsynlighet for utløsning av flomskred i bekkeløp vest for Alternativ Nord (A) til å være 1/100.





Figur 3-32 Bekk som renner inn i og gjennom Alternativ Nord (A). Øverst til venstre: sett oppstrøms. Øverst til høyre: sett nedstrøms. Nederst til venstre: sett nedstrøms. Nederst til høyre: sett nedstrøms, hvor vann fra bekken ledes ut i elven gjennom et rør.

Ut ifra dreneringsanalyser i ArcGIS og observasjoner gjort under befaring er det spesielt Lambafossen som peker seg ut som skredutsatt for Alternativ Nord (B) (Figur 2-3, Figur 2-37). Her vil det kunne være kombinasjonsskred og overganger mellom flom- og sørpeskred. Vi vurderer årlig sannsynlighet for utløsning av flomskred er større enn 1/50 for Lambafossen.

Videre er det flere bekkeløp som renner ned mot Alternativ Sør med potensiale for skredaktivitet. Alle bekkeløpene renner for en stor del på berg, og det synes å være begrenset mulighet for meddriving av løsmasser. I flomsituasjoner som inntreffer flere ganger hvert år vil begrensede masser kunne transporteres ned langs løpene og inn i Alternativ Sør, men om dette kan defineres som flomskred kan diskuteres. Større flommer med typisk returperiode 100-1000 år vil ha større kapasitet til å kunne dra med seg løsmasser.

3.5.3 Utredning av utløp

I skråningene vest og øst for kartleggingsområdene er det mulig å identifisere raviner på skyggekartet som kan være spor etter bekker som har erodert i løsmassene. I Alternativ Sør ble det under befaring i tillegg observert konvekse avsetningsformer antatt å være moreneavsetninger erodert av flomskred, mest sannsynlig i forbindelse med smelting av innlandsisen for ca. 10.000 år siden. Det var ikke spor etter aktiv erosjon i avsetningsformene, men sannsynligheten for nye flomskred er størst i tidligere flomskredløp. Derimot kan vi anta at løsmassetykkelsen i dag er langt mindre enn den var rett etter isen

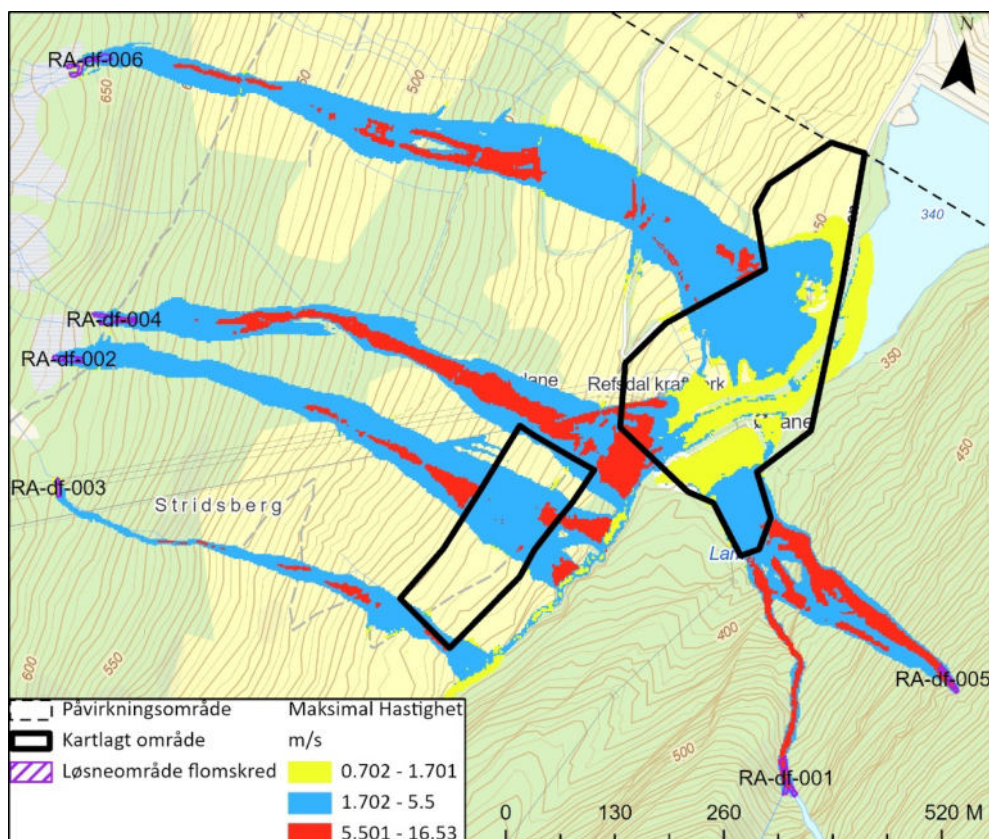
trakk seg tilbake. Det var få spor etter kraftig erosjon eller andre store avsetninger i øvrige dreneringsløp ned til kartleggingsområdene. Vi antar derfor at det er lav årlig sannsynlighet for større skred i disse.

For utredning av utløp er flomskred modellert fra seks potensielle løsneområder ovenfor kartleggingsområdene med modellverktøyet RAMMS::DEBRISFLOW (Vedlegg B). Inngangsparametere for simuleringene er gitt i Tabell 3-5. Medrivning/erosjon er inkludert.

Tabell 3-5 Parametere for modellkjøring av flomskred i RAMMS::DEBRISFLOW. Simuleringene er modellert med 2 m oppløsning på terrengmodellen.

Modell	Utløsnings- område	Tetthet (kg/m ³)	Coulomb friksjons- parametere μ	Viscous - turbulent friksjon ϵ	Brudd høyde (m)	Volum (1000 m ³)
RAMMS	RA-df-001	2000,0	0.1	200,0	1,0	0,33
	RA-df-002	2000,0	0.1	200,0	1,0	0.094
	RA-af-003	2000,0	0.1	200,0	1,0	0,22
	RA-df-004	2000,0	0.1	200,0	1,0	0,25
	RA-df-005	2000,0	0.1	200,0	1,0	0,37
	RA-df-006	2000,0	0.1	200,0	1,0	0,38

Figur 3-33 viser eksempler på flomskredsimuleringer. Figuren viser en samling av seks individuelle simuleringer. RAMMS inkluderer ikke sideveis friksjon og sideveis-utbredelse i simuleringene er derfor antatt å være overdreven. Simuleringen er basert på sjeldne hendelser, typisk med nominell årlig sannsynlighet på 1/5000. Simuleringen gir lave hastigheter slik at masseføringen er forventet å være lav, spesielt på jordene i Alternativ Nord (A). Helningen, samt fraværet av vegetasjon, gjør jordene utsatt for større utbredelse av potensielle flomskred enn tilstøtende terreng. Terrengforholdene gjør at det hovedsakelig er avsetningsprosesser som vil være gjeldende på jordene.



Figur 3-33 Eksempel på resultat av simulering av flomskred i RAMMS::DEBRISFLOW i størrelsesorden 1/5000. Bedre oppløsning på modelleringsresultater er vist i Vedlegg C.

Det er stort sett ikke fare for at observerte bekkeløp vil ta nye løp. Flomskred vil hovedsakelig følge eksisterende bekkeløp og forsenkninger, men det kan oppstå utbredelse utenfor løpene der områder flater ut, som på jordene. Her vil trolig masseføringen være begrenset pga. lav helning.

3.5.4 Når flomskred inn i kartleggingsområdet?

Basert på simuleringsresultater kan bla. flomskred ved Vikjaelva, Lambafossen og bekkene ved Dalastølene og Stridsberg nå inn i kartleggingsområdene. Bekkeløpet fra det nordligste myrområdet mot Alternativ Nord (A) fra vest kan også potensielt nå Alternativ Nord (A). Sideveis utbredelse vist i modelleringsresultatet er derimot antatt å være konservativ. Masseføringen fra flomskred fra vest er antatt å være lav ved Alternativ Nord (A), og vi vurderer at kartleggingsområdet kan nås av flomskred i sjeldne tilfeller, typisk hendelser med nominell årlig sannsynlighet 1/5000, men da også med lav intensitet. Flomskred fra Lambafossen kan nå Alternativ Nord (B) oftere enn hvert 100. år, men utstrekningen av faresonene antas å være avhengig av sørpeskred som er dominerende skredtype. Flomskred fra Vikjaelva er utredet i NGI-rapport 20210463-04-R og er vurdert til å ikke gi større oppskylling enn ved et potensielt dambrudd, altså ca. 341 moh.

Avsetningsformene observert i Alternativ Sør har trolig oppstått kort tid etter siste istid basert på nåværende løsmassetykkelse i dalsiden. Dersom det er flomskredavsetninger, vil trolig tilsvarende store flomskred være sjeldne med dagens løsmassetykkelse. Det er krevende å stadfeste eksakt løsneområde for flomskred, da disse kan løsne langs hele dreneringsløpet der det er løsmasser. Det er derfor ikke mulig å utelukke sjeldne hendelser med lengre utløp. Vi antar derfor at flomskred kan nå Alternativ Sør med en årlig sannsynlighet 1/5000.

3.6 Sørpeskred

3.6.1 Er sørpeskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

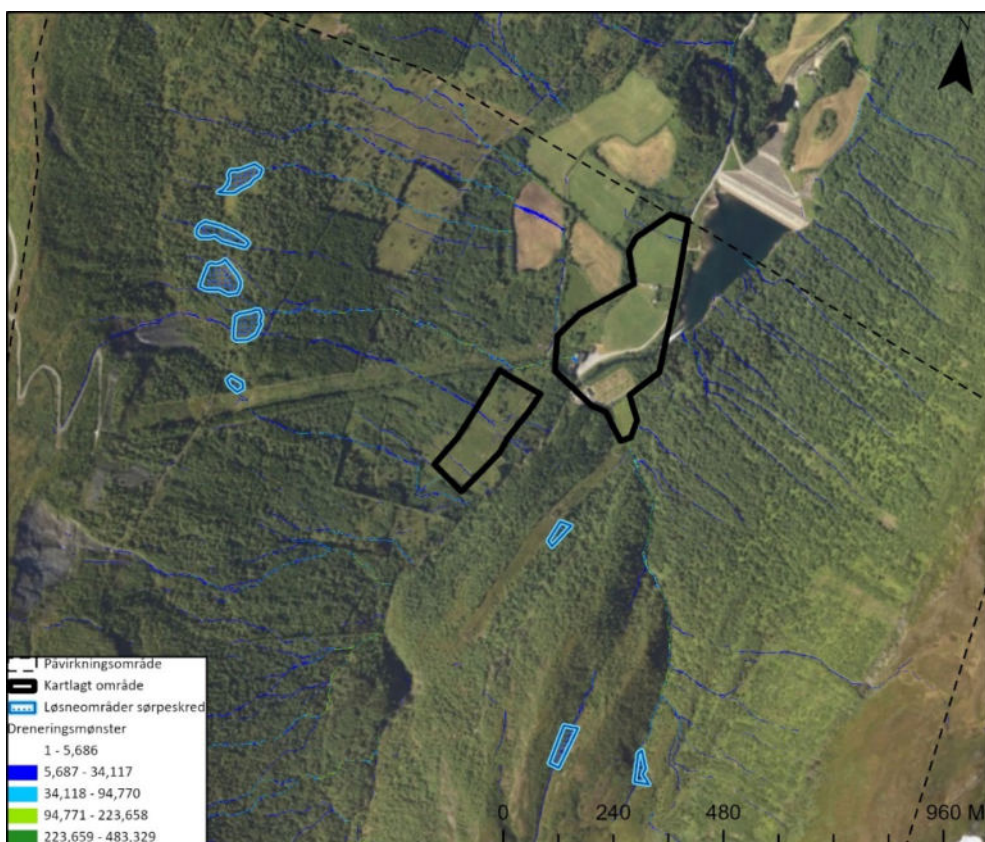
Sørpeskred anses å være aktuell skredtype i dette området (NGI, 2015). Terrenget tilsier at sørpeskred under visse forhold vil kunne oppstå i terrenget vest og øst for kartleggingsområdene, særlig dersom større snøfall blir etterfulgt av mildvær og regn.

3.6.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Sørpeskred har mange potensielle utløsningsområder. Typisk løsner sørpeskred nedenfor myrområder der helningen går over i brattere terreng, i bekkeløp med snødekke eller i åpne områder med vannmettet snø som for eksempel jorder (NVE, 2021b). Dette er typisk for påvirkningsområdet. Området ligger i et klima med typisk raske vekslinger mellom snøfall og mildvær med regn i området (regn på snø). Dette øker sannsynligheten for sørpeskred. Klimaforhold i området, terrengforhold og tidligere hendelser i nærområdet (kap. 2.1.4) tilsier at sørpeskred er en potensiell faretype.

For Alternativ Nord vil sørpeskred kunne følge bekkedragene ned mot kraftverket fra høyereliggende fjellpartier mot sør samt bekkeløp fra fjellpartiene mot vest. Særlig mener vi bekkeløpet ned Lambafossa mot Alternativ Nord (B) er utsatt for denne skredtypen (Figur 3-34). Figur 3-35, Figur 3-36, Figur 3-37 viser potensielle utløsningsområder og baner. Jordene ovenfor Alternativ Nord (A) er også aktuelle løsneområder i tilfeller hvor snødekket er svært vannmettet. Vi vurderer årlig sannsynlighet for utløsning av sørpeskred i fjellsiden vest for Alternativ Nord (A) til 1/100 og for Alternativ Nord (B) 1/30.

For Alternativ Sør vil sørpeskred kunne løsne i myrområdene vest i påvirkningsområdene der det kan magasineres mye vann i snødekket (Figur 3-34). Det er flere dreneringsløp fra myrområdene som kan dra med seg masser ned mot kartleggingsområdene. Sørpeskred kan også løsne fra åpne jorder, noe som gjør store deler av dalsiden vest for Alternativ Nord (A) og Alternativ Sør til potensielle løsneområder (Figur 3-38). Vi vurderer årlig sannsynlighet for utløsning av sørpeskred i fjellsiden vest for Alternativ Sør til 1/100.



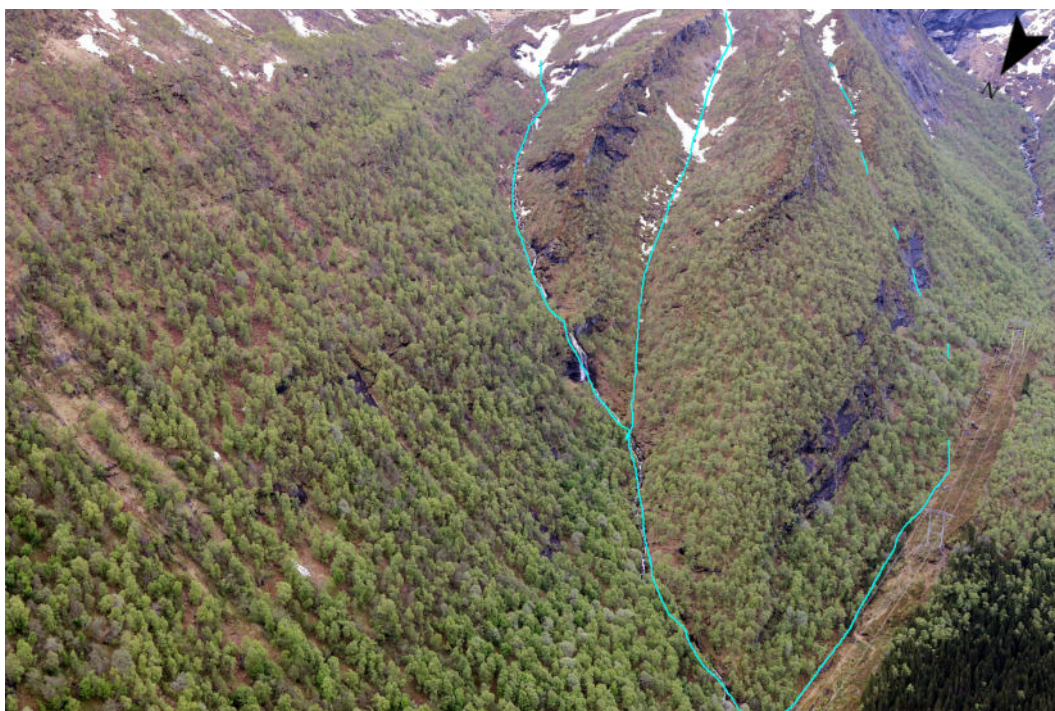
Figur 3-34 Potensielle baner / utløsningsområder for sørpeskred. Dreneringsløp er potensielle sørpeskredbaner.



Figur 3-35 Potensiell utløsningsområdet for sørpeskred i øvre del av Lambafossa (oppe på fjellet). Her er det en utflating hvor vann i snødekket kan bygge seg opp før bekkeløpet faller bratt ned mot Alternativ Nord (B). Det er også bratte sidedaler som kan gi snøskred som kan tette bekkeløpet.



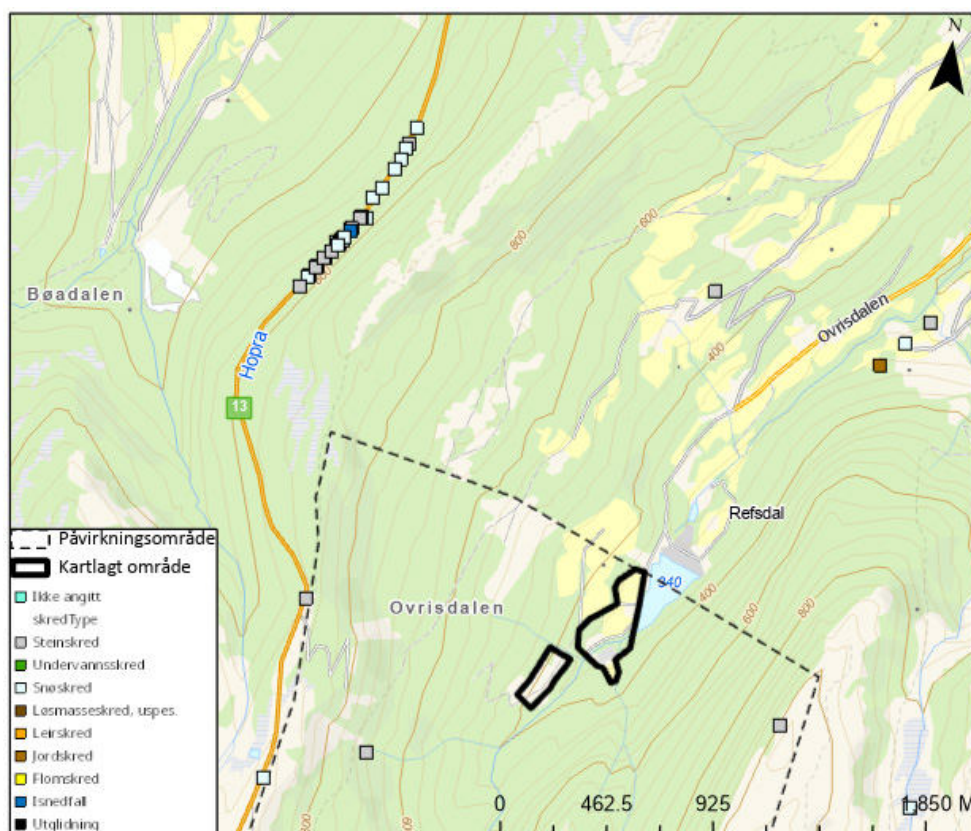
Figur 3-36 Potensielt utløsningsområde og bane for sørpeskred.



Figur 3-37 Potensielle baner / utløsningsområder for sørpe-/flomskred sørøst for Alternativ Nord (B).



Figur 3-38 Potensielle utløsningsområder for sørpeskred på åpne jorder.



Figur 3-39 Registrerte skred fra NVEs skredatabase (www.skredregistrering.no).

Sørpeskred i området kan typisk starte på dyrket mark der vann konsentreres i snødekket, eller oppe på myrene omkring 670 moh. På motsatt side av ryggen mot Rv. 13, er det registrert sørpeskred i bekkene som krysser veien (Figur 3-39). Det er ingen registrerte hendelser mot de to aktuelle kartleggingsområdene. Dette kan skyldes lite aktivitet i området. Sørpeskred er en heller vanlig skredtype i midtre deler av Sognefjorden og i Sunnfjord der mange skred har løsnet på åpne områder som jorder. Med den årlige sannsynligheten som skal legges til grunn for trafostasjonen (1/5000), er det påregnelig at det også kan gå sørpeskred i dalsidene ovenfor kartleggingsområdene.

3.6.3 Utredning av utløp

For de utvalgte utløsningsområdene ble representative modellkjøringer gjort med SAMOS-solver med modifisert Bingham-Coulomb friksjon med medrivning samt i RAMMS::DEBRISFLOW (Vedlegg B). Inngangsparametere for simuleringene er gitt i Tabell 3-6 og Tabell 3-7. Parametervalget i RAMMS er basert på etterregning fra hendelser, rapport fra Skred AS (NVE, 2021a) samt rapport fra NGI (NGI, 2016). μ angir bakkefriksjon og styrer primært hastighet i utløpsområdet samt utløpslengde. ϵ angir intern friksjon og styrer primært den maksimale hastighet i den modellerte skredbevegelsen. Medrivning av snø og skog er inkludert i beregningene.

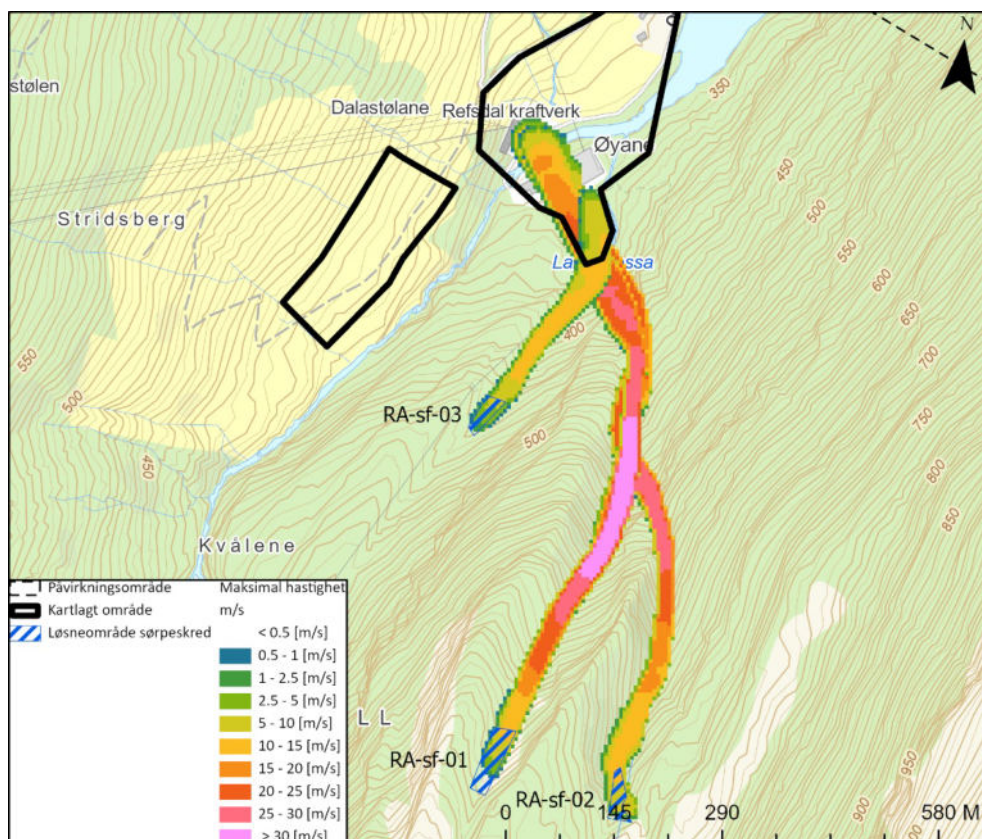
Tabell 3-6 Parametere for modellkjøring sørpeskred i SAMOS-solver.

Modell	Utløsnings- område	Skjær- styrke (Pa)	Bingham viskositet (Pa s)	Coulomb friksjons- parametere μ	Volum (1000 m^3)	Maks erosjons- dybde (m)	dN (m^{-1})
SAMOS- solver	RA-sf-01	100	3	0,1	3,4	0,5	0,008
	RA-sf-02	100	3	0,1	2,3	0,5	0,008
	RA-sf-03	100	3	0,1	1,5	0,5	0,008

Tabell 3-7 Parametere for modellkjøring av sørpeskred i RAMMS::DEBRISFLOW. Anbefalte inputparametere for friksjon er brukt.

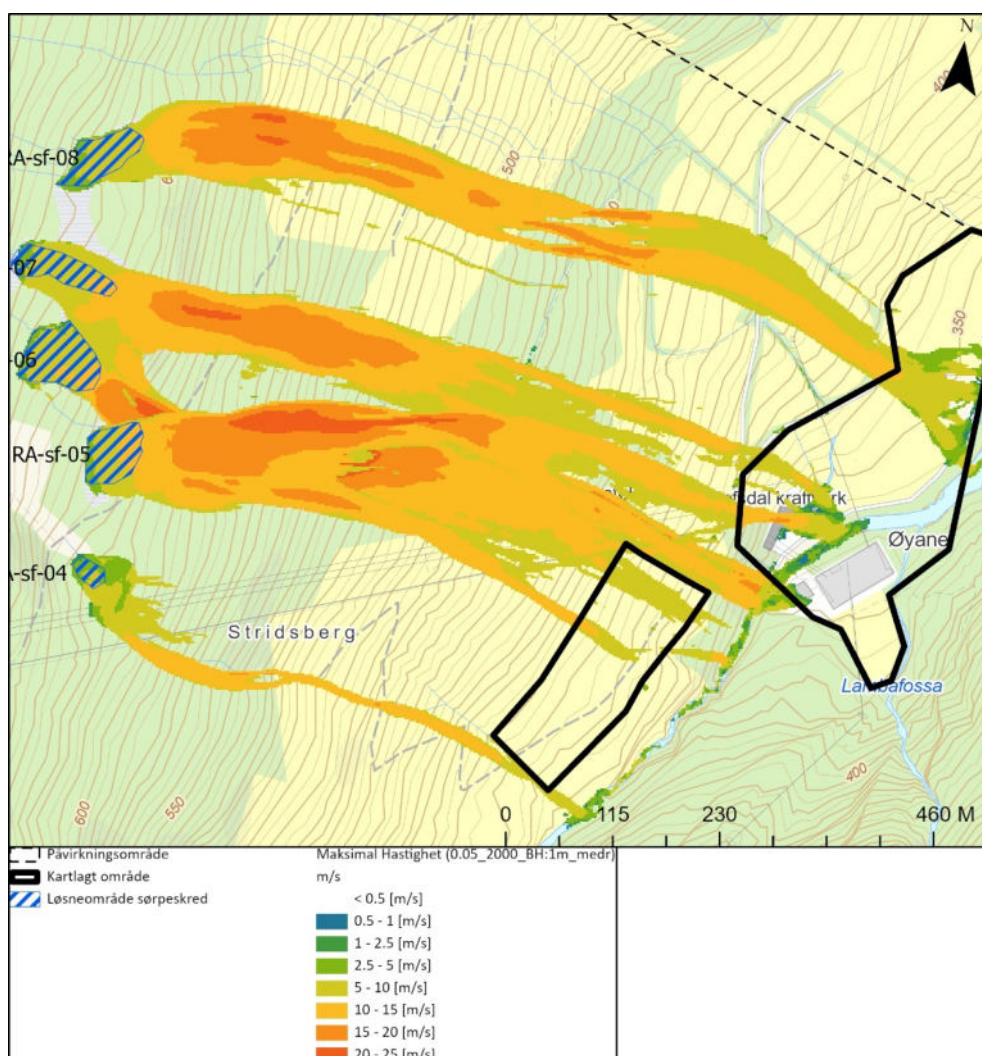
Modell	Utløsnings- område	Coulomb friksjons- parametere μ	Viscous - turbulent friksjon ϵ	Brudd høyde (m)	Volum (1000 m^3)	Tetthet (kg/m^3)	Maks erosjons- dybde (m)
RAMMS	RA-sf-04	0,05	2000,0	1,0	0,8	1000,0	0,5
	RA-sf-05	0,05	2000,0	1,0	3,3	1000,0	0,5
	RA-sf-06	0,05	2000,0	1,0	4,7	1000,0	0,5
	RA-sf-07	0,05	2000,0	1,0	3,2	1000,0	0,5
	RA-sf-08	0,05	2000,0	1,0	3,0	1000,0	0,5

Sørpeskred blir i mindre grad styrt av veier og grøfter enn dreneveiene. Figur 3-40 viser eksempel på sørpeskredsimulering for tre ulike løseområder øst for Alternativ Nord (B). Simulerte løseområdene er aktive bekkeløp.



Figur 3-40 Eksempel på tre sørpeskred simulert i SAMOS-solver. Antatt sannsynlighet i vist simulasjon er i størrelse 1/100 per år. Bedre oppløsning på modelleringsresultater er vist i Vedlegg C.

Figur 3-41 viser eksempel på sørpeskredsimuleringer for fem ulike løснеområder vest for Alternativ Nord (A) og Alternativ Sør. Simulerte løśnieområder inkluderer bekker nedenfor myrområder som potensielt kan samle mye vann når forholdene ligger til rette for dette. Under befaringen 07.11.2022 ble det observert masseføring i disse bekkene.



Figur 3-41 Eksempel på fem sørpeskred simulert i RAMMS::DEBRISFLOW. Antatt sannsynlighet i respektiv simulasjon er i størrelse 1/1000 per år. Bedre oppløsning på modelleringsresultater er vist i Vedlegg C.

Figur 3-34 viser hvordan terrenget drenerer vann både med kanalisering og spredning. Som en ser av figuren er det både veier og terreng som påvirker strømningsretning. Modelleringsresultatene viser samme trend. Sørpeskred vil hovedsakelig følge bekkeløp. Dette gjør at alle bekkeløp ned til kartleggingsområdene er potensielt utsatt for sørpeskred. Derimot bør man ikke utelukke at skredmasser følger veier dersom stikkrenner ikke har god nok kapasitet. Det er ikke utført simulering av sørpeskred på jordene, men sørpeskred kan typisk løsne i forsenkninger med høyt vanninnhold.

En ser at det er relativt lite vannsig mot deler av Alternativ Nord (A), dette skyldes en svak ryggform opp for planområdet på vestsiden, samt at veier leder vann sidelengs på jordene. Stikkrenner i vei er ikke lagt inn i modellen. I dag er mye av vannet som føres med grøfter langs veien, ført ned i ei samlegrøft, en bekk som dels er lukket midt i Alternativ Nord (A). Sørpeskred mot Alternativ Nord (B) er aktuelt langs Lambafossa

samt ravinen vest for Lambafossa. For Alternativ Sør er det flere potensielle utløp som kan føre masser ned mot kartleggingsområdet.

Simuleringsresultater viser at massene har hastigheter på rundt 10 m/s (70 kPa ($\rho = 700$)) ved Alternativ Nord (A) og Alternativ Sør. Massetransporten vil trolig være begrenset nede ved kartleggingsområdene. Trolig vil en stor del av avsetningene avsettes før de når kartleggingsområdene og snø med høyt vanninnhold/vann vil gi de lengste utløpene. Ved Alternativ Nord (B) er hastigheten høyere og sørpeskred kan nå kartleggingsområdet med hastigheter opp mot 30 m/s (~630 kPa ($\rho = 700$)). Her vil skredene ha større intensitet med større potensiale for massetransport.

Det er stor usikkerhet rundt skadepotensialet til sørpeskred fra vest mot Alternativ Nord (A) og Alternativ Sør. Trolig vil det være tilstrekkelig å sørge for god kapasitet på grøfter for å gi tilstrekkelig drenering. For Alternativ Nord (B) vurderes skadepotensialet fra sørpeskred i Lambafossa til å kreve større tiltak (for eksempel wirenett over bekkeløpet).

3.6.4 Når sørpeskred inn i kartleggingsområdet?

Modellene viser store forskjeller med små parameterendringer samt kjøring med og uten medrivning/erosjon. RAMMS inkluderer ikke sideveis friksjon og sideveis-utbredelse i simuleringene er derfor antatt å være overdreven. De lengste modellerte utløpene består trolig hovedsakelig av vann, hvor snøen stort sett blir avsatt i områder med skog og vannet renner videre ned mot elva. Trenden viser likevel at de høyeste hastighetene og lengste utløpene følger bekkeløp.

Sørpeskred gir ikke nødvendigvis tydelige spor i terrenget dersom de ikke har vært spesielt masseførende. Videre er løseområder og utløpområder krevende å identifisere eksakt da sørpeskred kan løsne i områder med lav helning og bevege seg langt ut på flater dersom vanninnholdet er tilstrekkelig. Basert på antall registrerte hendelser på Rv. 13, samt klima- og terrengindikasjoner vurderer vi at sørpeskred kan nå kartleggingsområdene langs dreneringskanaler.

For Alternativ Nord (A) vurderer vi at sørpeskred fra sør (langs Lambafossen) ikke vil slå høyt nok opp til at planområdet blir liggende innenfor faresonen med nominell årlig sannsynlighet $\geq 1/1000$. Det finnes også kildeområder for sørpeskred oppstrøms i elven som strømmer mot nordøst (Vikja). Vi vurderer at det meste av de faste massene vil bli avsatt før det nærmer seg Alternativ Nord (A) og hovedsakelig kun vann vil nå helt fram. Vi vurderer nominell årlig sannsynlighet for at denne flommen vil slå inn i planområdet til å være mindre enn $1/1000$. Videre vurderer vi at sørpeskred kan nå Alternativ Nord (A) med en årlig sannsynlighet på $1/1000$ fra vest. Fjellsiden har mange dreneringsløp ned mot kartleggingsområdet samt åpne jorder uten skog.

For Alternativ Nord (B) vurderer vi at sørpeskred kan nå kartleggingsområdet med en årlig sannsynlighet i størrelsesorden $1/100$ fra Lambafossa. For Alternativ Sør vurderer vi at sørpeskred kan nå kartleggingsområdet med en årlig sannsynlighet $1/5000$ langs

dagens dreneringsløp. Sørpeskred kan også her potensielt løsne i forsenkninger på jordene over kartleggingsområdet.

3.7 Hva er den samlede skredfaren?

Basert på tilgjengelig grunnlagsdata, observasjoner, modelleringsresultater og faglig skjønn vurderer vi kartleggingsområdene som skredutsatte. Se Vedlegg E for registreringer fra befaring (registreringskart).

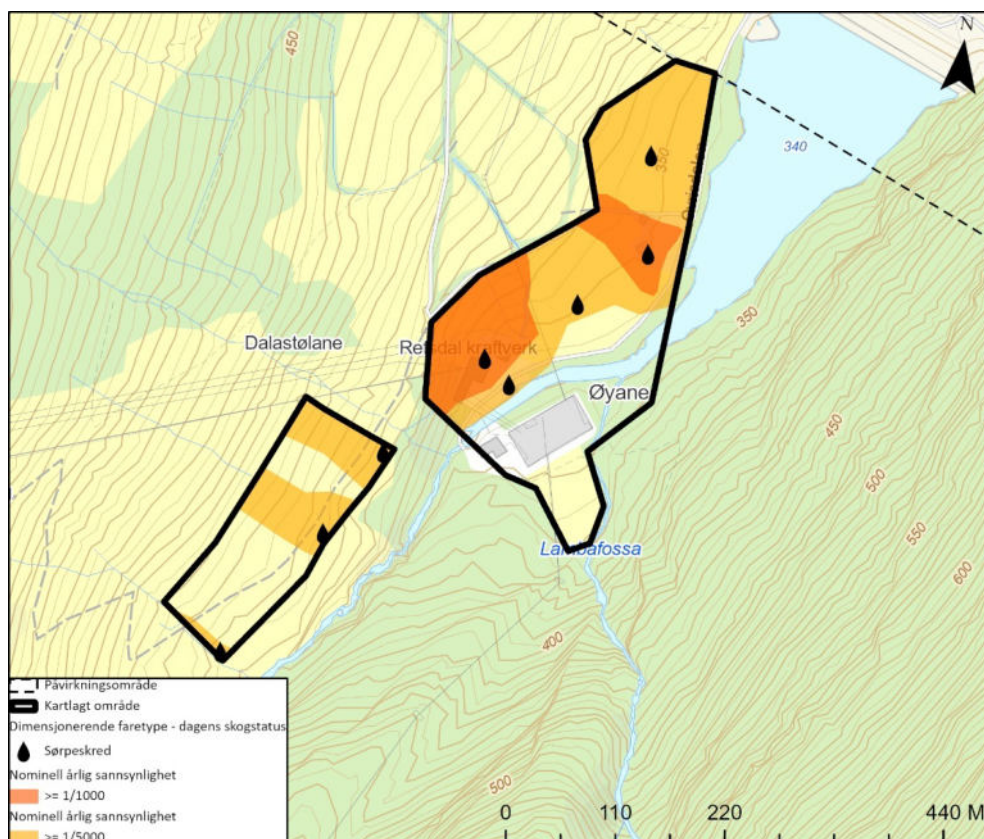
- Alternativ Nord (A), nordvest for elva Vikja, er utsatt for flom-, sørpe- og snøskred hvor sørpeskred er dimensjonerende skredtype med årlig sannsynlighet 1/1000.
- Alternativ Nord (B), sørøst for elva Vikja ved eksisterende 300 kV bryterfelt, er utsatt for steinsprang, snø-, jord-, flom- og sørpeskred med årlig sannsynlighet 1/100. Steinsprang og sørpeskred er dimensjonerende for årlig sannsynlighet 1/100, samt flomskred fra Vikjaelva. Snøskred er dimensjonerende for årlig sannsynlighet 1/1000 og 1/5000.
- Alternativ Sør er utsatt for flom- og sørpeskred. Sørpeskred er dimensjonerende for årlig sannsynlighet 1/5000.

Tabell 3-8 gir en oversikt over hvilke kartleggingsområder som er utsatt for skredfare.

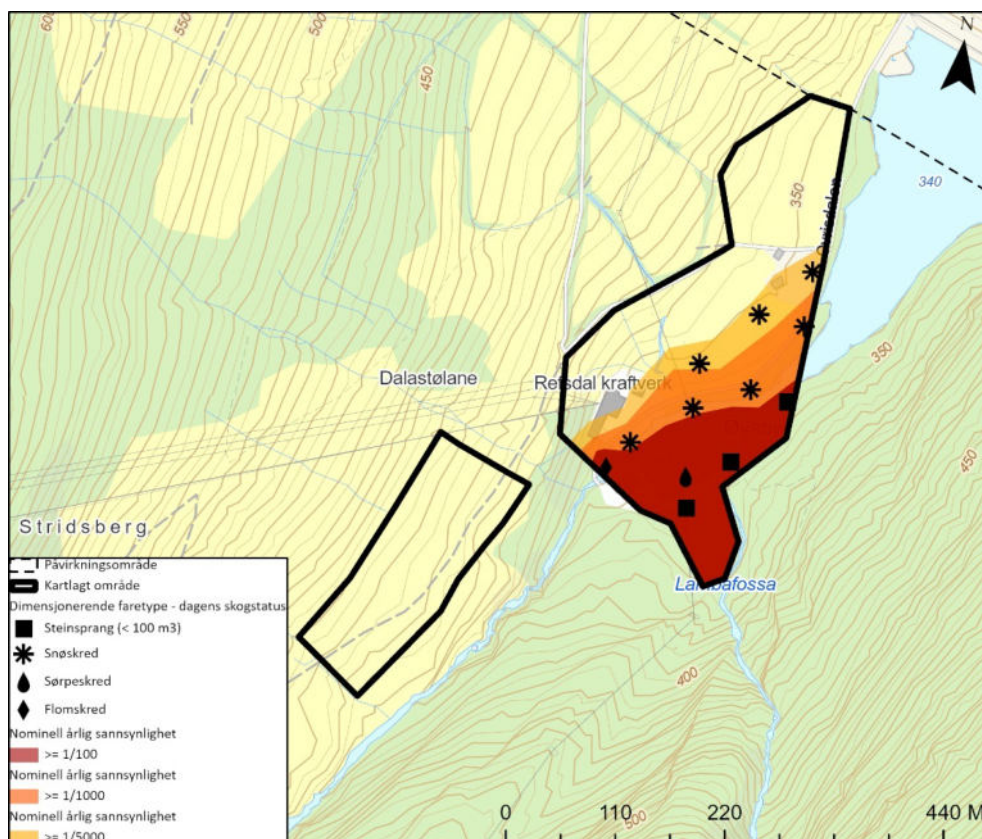
Tabell 3-8 Oversikt over faresoner som påvirker kartleggingsområdene.

Kartleggingsområder	Faresoner som påvirker kartleggingsområdet		
	1/100	1/1000	1/5000
Alternativ Nord (A)		x	x
Alternativ Nord (B)	x	x	x
Alternativ Sør			x

Figur 3-42 og Figur 3-43 viser samlede faresoner for skred fra bratt terreng fra henholdsvis vest og øst med dimensjonerende faretyper indikert med symbol. Vurderingene baserer seg på dagens skogforhold. Faresonekart med bedre oppløsning er gitt i Vedlegg F.

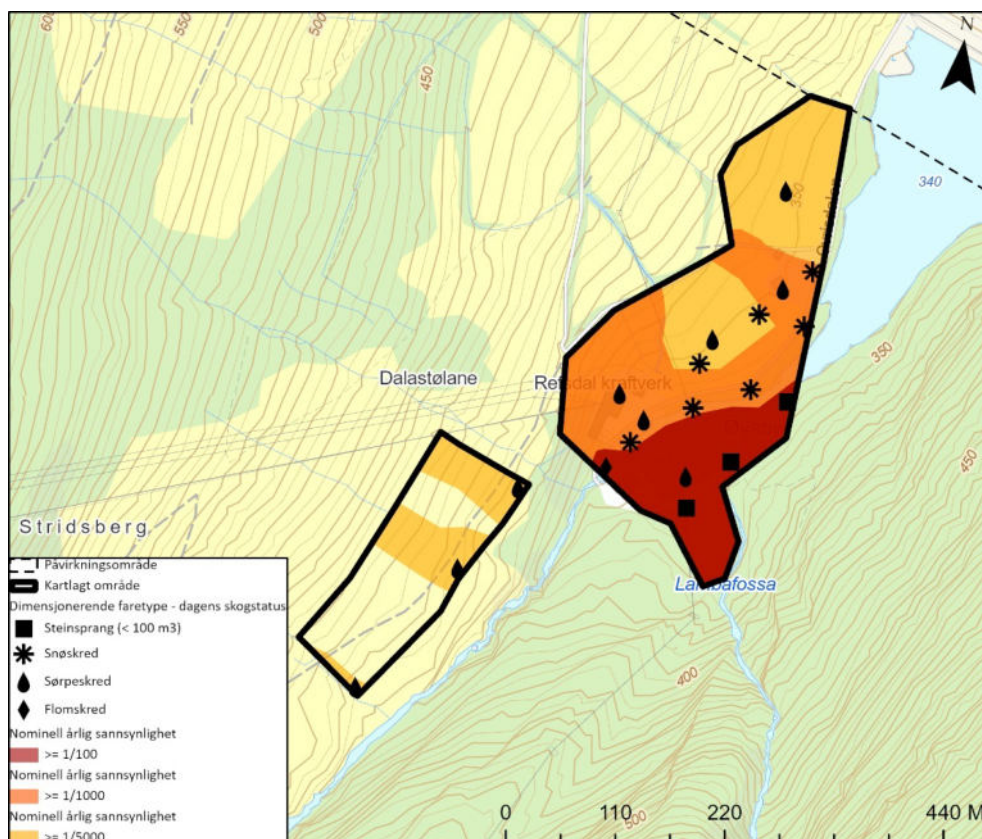


Figur 3-42 Faresoner med dimensjonerende skredtyper fra vest for samtlige aktuelle skredtyper.



Figur 3-43 Faresoner med dimensjonerende skredtyper fra øst for samtlige aktuelle skredtyper.

Figur 3-44 viser samlede faresoner for skred fra bratt terreng samlet fra vest og øst med dimensjonerende faretyper indikert med symbol. Vurderingene baserer seg på dagens skogforhold. Faresonekart med bedre oppløsning er gitt i Vedlegg F.



Figur 3-44 Faresoner med dimensjonerende skredtyper for samtlige aktuelle skredtyper.

For å hindre utløp ned til kartleggingsområdene for å tilfredsstille sikkerhetsklasse S3 kreves det sikringstiltak.

3.8 Avvik fra tidligere skredfareutredninger

Gjeldene skredfarevurdering er i samsvar med tidligere skredfarevurderinger for området:

- Den utvidede risikovurderingen på S3 tilsvarende den forrige fra vurderingen i *Efla AS (2014) Refsdal koblingsstasjon, Rasvurdering, juni 2014*
- Faresoner for nordvestlig del er vurdert i NGI (2015). *Ingeniørgeologisk bistand til småkraftverkprosjekter på Vestlandet. Refsdal kraftstasjon, Vik – Befaringsrapport. Dokument nr. 20140342-05-TN, rev. 0, datert 26.03.2015.*
- Faresoner for Alternativ Nord (B) er vurdert i NGI (2022c). *Stasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal. Skredfarevurdering Refsdal stasjon i henhold sikkerhetsklasse S3. Dokument nr. 20210463-06-R, rev. 1, datert 27.07.2022.*

Gjeldene skredfarevurdering er ikke i samsvar med tidligere skredfarevurderinger for området:

- Skredfare for alternativ Nord (B) er vurdert i NGI (2022a). *Transformatorstasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal Vurdering av naturfarer og grunnforhold for transformatorstasjon Refsdal frem til BP1. Dokument nr. 20210463-04-R, rev. 0, datert 18.02.2022.*
- Skredfare for Alternativ Sør er vurdert i NGI (2022b). *4 trafostasjoner på Vestlandet vurdering av naturfarer og grunnforhold for transformatorstasjon Refsdal sør for Refsdal kraftverk frem til BP1. Dokument nr. 20210463-05-R, rev. 0, datert 18.03.2022.*

Vi har justert faresonen for sørpeskred for S2-scenario for Alternativ Nord (A) fra NGI-rapport 20210463-04-R. Nyere beregninger, dreneringsanalyser og observasjoner fra befaring samsvarer ikke med beregningene til 04-R og vi forskyver derfor deler av faresonen med årlig sannsynlighet 1/1000 ca. 20 m sør. Vi antar at tidligere simuleringer er utført med grovere terrengmodell.

NGI-rapport 20210463-05-R var en ren skrivebordsstudie. Etter ny vurdering med befaring av Alternativ Sør er konklusjonen endret. Store deler av Alternativ Sør tilfredsstiller ikke kravene for S3.

3.9 Stedsspesifikk usikkerhet

Anslag for størrelse og utløsningssannsynlighet for jordskred er krevende. Effekten av skog er vanskelig å kvantifisere. Skog i fjellsiden øst for koplingsstasjon har noen betydning enten for frekvens og spredning av snøskred. Men store deler av utløsningsområdene for snøskred ligger over skoggrensen. Skog har mindre betydning for steinsprang. Rotvelting kan til og med føre til en økning i frekvensen av steinsprang. Kombinasjon av en del store trær på tynt jordsmonn kan være en indikasjon på økt sannsynlighet for utløsning (mer labile forhold) av jordskred.

4 Konklusjon

Kartleggingsområdet Alternativ Nord ved Refsdal transformatorstasjon, Vik kommune, er vurdert til å befinne seg innenfor faresone 1/100 med anslått årlig sannsynlighet større enn 1/100 samlet for flom-/sørpeskred og steinsprang fra sørøstlig fjellside. Snøskred vurderes å kunne ramme området med en nominell årlig sannsynlighet større enn 1/1000 fra øst. Faren for at jordskred kan nå Alternativ Nord fra øst vurderes å være i størrelsesorden 1/5000. Snøskred og sørpeskred er dimensjonerende for faresone 1/1000 og 1/5000.

Kartleggingsområdet Alternativ Sør, sør for Alternativ Nord, er vurdert til å befinne seg innenfor faresone med anslått årlig sannsynlighet større enn 1/5000 samlet for flom- og sørpeskred. Sørpeskred er dimensjonerende faretyper for årlig sannsynlighet 1/5000 fra vestlig fjellside.

Kartleggingsområdene tilfredsstiller ikke kravene til sikkerhetsklasse S1, S2 eller S3 under dagens forhold.

Noen mulige sikringskonsepter er diskutert i NGI 20210463-06-R, rev. 1.

Faresoner for skred vises i Vedlegg F.

5 Referanser

Dorren, L.; Zuanon, N.; Ginzler, C. & Monnet, J.-M. (2017) FINT – Find Individual Trees, ecorisQ – International association for natural hazard risk management.

Efla AS (2014) Refsdal koblingsstasjon, Rasvurdering, Juni 2014.

Gauer, P. & Kristensen, K. (2022). Remarks on the uncertainty in the delimitation of hazard zones based on historical observations Norwegian Geotechnical Institute Technical Note 20200017-09-TN.

Gauer, P. (2020) Considerations on scaling behavior in avalanche flow: Implementation in a simple mass block model Cold Regions Science and Technology, 2020, 180, 103165.

Gauer, P. (2018) Avalanche Probability: Slab Release and the Effect of Forest Cover Proceedings of the International Snow Science Workshop 2018, Innsbruck, Austria, 2018, 76-83.

Hermanns, R.L., Yugsi, F., Penna, I., (2021) Fare- og risikoklassifisering av det ustabile fjellpartiet Ovriseggi i Vik, Vestland. Norges geologiske undersøkelse (NGU).

Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. & Ådlandsvik B. (Red.) (2015). Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report no. 2/2015.

Lied, K. og Bakkehøi, S. (1980). Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-Out Distance Based on Topographic Parametres. Journal of Glaciology, 26 (94), 165-177.

Lussana C., Tveito O.E. & Uboldi F. (2016). seNorge v2.0: an observational gridded dataset of temperature for Norway. MET-report 14/2016.

Magnin, F., Etzelmüller, B., Westermann, S., Isaksen, K., Hilger, P., and Hermanns, R. L.: Permafrost distribution in steep rock slopes in Norway: measurements, statistical modelling and implications for geomorphological processes, Earth Surf. Dynam., 7, 1019–1040, <https://doi.org/10.5194/esurf-7-1019-2019>, 2019.

Multiconsult AS (2021). Statnett – Geotekniske grunnundersøkelser Refsdal kraftverk. Geotekniske grunnundersøkelser. Datarapport. Dokument nr. 10227671-RIG-RAP-002, datert 02.11.2021.

NIBIO (2022) Skogressurskart (SR16). WMS-tjeneste. Hentet 15.12.2022.

NIBIO (2016) FKB-AR5. Kartdatabase. Hentet 15.12.2022.

NGI (2022a) 20210463-04-R Transformatorstasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal Vurdering av naturfarer og grunnforhold for transformatorstasjon Refsdal frem til BP1, Norges Geoteknisk Institutt, datert 18.02.2022.

NGI (2022b) 20210463-05-R 4 trafostasjoner på Vestlandet vurdering av naturfarer og grunnforhold for transformatorstasjon Refsdal sør for Refsdal kraftverk frem til BP1. Norges Geoteknisk Institutt, datert 18.03.2022.

NGI (2022c) 20210463-06-R Stasjonene Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal Skredfarevurdering Refsdal stasjon i henhold sikkerhetsklasse S3. Norges Geoteknisk Institutt, datert 08.07.2022.

NGI (2016) 20140053-400. Slushflows (SP 4 FoU Snøskred: Work Package 3 – Slushflows). Norges Geotekniske Institutt, datert 29.01.2016.

NGI (2015). Ingeniørgeologisk bistand til småkraftverkprosjekter på Vestlandet. Refsdal kraftstasjon, Vik – Befaringsrapport. Dokument nr. 20140342-05-TN, rev. 0, Norges Geoteknisk Institutt, datert 26.03.2015.

NGU (2016) Produktark: Løsmasser N50/N250, 2012-09.

NGU (2015a) Presentasjonsregler for løsmassedata, Norges geologiske undersøkelse (NGU), 2015-03-15.

NVE (2020) Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. [12.11.2020]. Veileder - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak (nve.no). Hentet 07.11.2022.

NVE (2021a) Bruk av RAMMS::DEBRISFLOW på kjente sørpeskredhendelser. NVE Ekstern rapport nr. 9/2021.

NVE (2021b) FOU 80606 – Identifisering av løsneområder for sørpeskred. NVE Ekstern rapport nr. 8/2021.

Reineke, L.H. (1933) Perfecting a stand-density index for even-age forests. Journal of Agricultural Research. 46: 627 – 638.

Saloranta T. (2014) New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. NVE Report 06/2014.

Schwitzer, R., Frehner, M., Wasser, B. (2014) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2014.

Sovilla, B., McEwaine, J.M., Louge, M.Y. (2015) The structure of powder avalanches. Comptes Rendus Physique, Volume 16, Issue 1, P. 97-104. SWAG (2016) American Avalanche Association. Snow, Weather and Avalanches: Observation Guidelines for Avalanche Programs in the United States (3rd ed). Victor, ID, 2016.

Vedlegg A

METODE FOR FASTSETTING AV FARESONER

Innhold

A1	Innledning	2
A2	Kort beskrivelse av aktuelle skredtyper	2
A2.1	Steinskred og steinsprang	2
A2.2	Flomskred	2
A2.3	Snøskred	2
A2.4	Jordskred	3
A2.5	Sørpeskred	3
A3	Tolking av spor i terrenget	3
A4	Vegetasjon og terreng	4
A4.1	Terreng	4
A4.2	Skog	6

A1 Innledning

Tre faresoner er vurdert i dette oppdraget:

- Faresone for utbredelse av skred med årlig sannsynlighet 1/100
- Faresone for utbredelse av skred med årlig sannsynlighet 1/1000
- Faresone for utbredelse av skred med årlig sannsynlighet 1/5000

Faregrensene representerer den samlede sannsynlighet for alle de vurderte skredtypene. I hovedsak vil det være en skredtype som er dominerende og bestemmende for skred-utløpet. Hvilken skredtype som er dimensjonerende er markert i kartet med eget symbol (se tegnforklaring i faresonekart). Unntaksvis vil flere skredtyper ha omtrent samme utbredelse, og i slike tilfeller må den samlede sannsynlighet for de relevante skredtyper summeres og legges til grunn for fastsettelsen av faregrensen.

A2 Kort beskrivelse av aktuelle skredtyper

A2.1 Steinskred og steinsprang

Steinskred og steinsprang forekommer vanligvis i bratte oppsprukne fjellpartier der terrenghelningen er større enn 45°. Steinsprangene utløses fra steile sprekker og overheng som har utviklet seg over lang tid grunnet forvitring. Det vanligste er mindre utfall på noen fåtalls kubikkmeter, men større steinskred kan også tidvis forekomme. Steinsprang forekommer helst om våren og høsten, ofte som følge av frysing/tining eller pga. store nedbørmengder som fører til høyt vanntrykk i sprekke i fjellet. Rotsprengning kan også løse ut steinsprang. Også frittliggende blokker kan bli satt i bevegelse av prosessene nevnt over.

A2.2 Flomskred

Denne skredtypen følger bekker og elver, og kan bli utløst i løp med helning helt ned mot 10° - 15°. Jord- og flomskred blir gjerne utløst etter langvarig nedbør, eller etter korte, men intense regnskyll. Sterk snøsmelting kan også føre til utløsning av slike skred, men da oftest i kombinasjon med regn.

A2.3 Snøskred

Snøskred utløses vanligvis der terrenget er mellom 30° - 55° bratt. Der det er brattere, glir snøen ut i små porsjoner uten at det dannes større snøskred. Fjellsider som ligger i le for de vanligste nedbørførende vindretninger er mest utsatt for snøskred. Likeledes går det oftest skred i skar, bekkedaler og andre forsengkninger fordi det samles opp mest snø på slike steder. Fjellrygger og fremstikkende knauser blåses som regel frie for snø. Hvis skogen står tett i fjellsiden vil dette hindre utløsning av snøskred. Forutsetningen er at trærne er så høye at de ikke snør ned. Som regel må det komme fra 0,5 - 1 m snø i løpet av to til tre døgn sammen med sterk vind for at store snøskred skal bli utløst. Markante temperaturstigninger kan også føre til at det går snøskred.

Det kan oppstå våte snøskred, som generelt har kortere rekkevidde enn tørre snøskred. Strømningsforholdene i våte snøskred skiller seg fra tørre snøskred og kan sammenlignes med sørpe- eller flomskred. I etterkant er det ofte ikke mulig å gjøre et klart skille, siden snøsmelting i bratt terreng kan være årsaken til alle disse prosessene og det er også mulig for våte snøskred å «transformeres» til vannmettede snøskred til sørpe- eller flomskred ved stor vanntilgang.

Observasjoner tyder på at våtsnøskred også kan utløses i bratte skoger hyppigere enn tørre snøskred.

A2.4 Jordskred

Jordskred utløses helst i bratte fjellsider der det ligger løsmasser og der terrenget er brattere enn 25° - 30°. Løsmasser med høyt innhold av finere partikler, som for eksempel leire, kan bli utløst i enda slakere terreng. Oftest er nedbør årsaken til at jordskred utløses. Steinsprang kan også utløse jordskred dersom steinblokker treffer vannmettede løsmasser i bratt terreng, og setter disse i bevegelse.

A2.5 Sørpeskred

Sørpeskred er en spesiell type snøskred der snøen inneholder så mye vann at den blir flytende. Skredene følger helst bekke- og elvedrag som myrområder, vann eller slake forsenkninger. Sørpeskred kan løsne i slake partier (helt ned mot 5°) hvor vann bygger seg opp i snødekket eller nedenfor utløp av snødemte vann og myrer når vann bryter seg gjennom snøen og drar med seg snø videre i løpet. Sørpeskredene kan forekomme i ulike terrengetyper og kan være vanskelig å forutsi. De utløses helst når snøen er løs og lett, i nysnø eller i grovkornet løs snø som ligger på frossen grunn eller sva (impermeabel grunn), som følge av kraftig regn eller snøsmelting. Sørpeskred kan nå langt selv i slakt terreng. Sørpeskred kan forekomme i de samme bekke- og elvedragene som flomskred, og det kan i noen tilfeller være vanskelig å skille mellom disse to vannbårne skredtypene. I noen tilfeller kan det også være krevende å skille mellom våtsnøskred og sørpeskred, ettersom vanninnhold kan endre seg langs skredbanen i begge tilfeller.

Likedan som overgangen mellom jordskred og flomskred er glidende, så er overgangen fra snøskred til sørpeskred glidende og avhenger av mengde vann. Dessuten har en rekke flomskred sitt opphav som sørpeskred. Derfor bør klassifiseringene ovenfor kun ses på som en grov klassifisering.

A3 Tolking av spor i terrenget

Tidligere skredhendelser vil i noen grad kunne observeres ute i terrenget. For eksempel vil spor etter snøskred kunne vises i form av skader på vegetasjonen. Skredblokker vil i de fleste tilfeller bli liggende som vitnesbyrd på tidligere steinspranghendelser, men dersom det er innmark kan steinblokker ha blitt fjernet. Ofte vil det være et problem å skille skredblokker fra moreneblokker som har blitt transportert med isen.

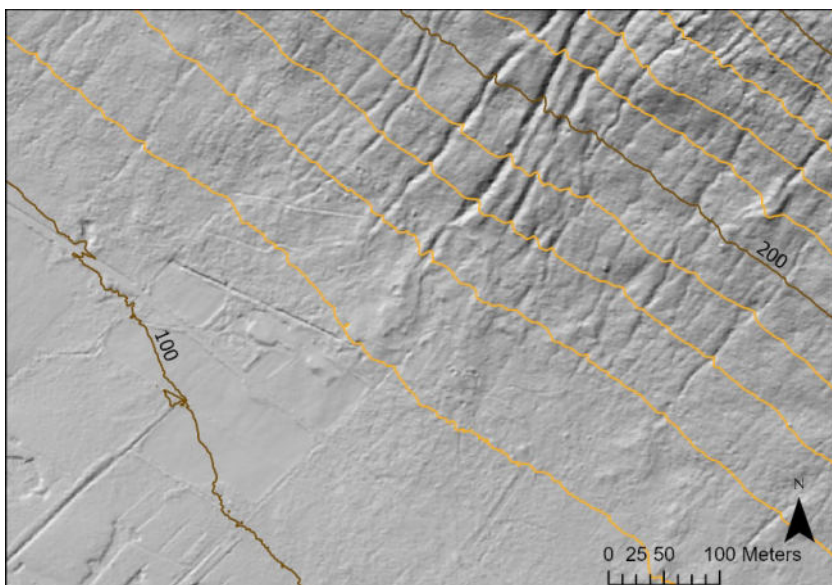
Skred som er masseførende slik som jord- og flomskred vil som oftest gi varige spor i terrenget. Det kan enten være erosjonsformer slik som nedskjæringer (raviner) eller avsetningsformer (som regel vifteformet eller levéer). Utfordringen er å vite hvor gamle disse skredene er, og i hvilken grad de er representative for dagens forhold. I tiden like etter siste istid gikk det et stort antall skred under helt andre vegetasjonsforhold med stor vanntilgang grunnet ismelting.

A4 Vegetasjon og terreng

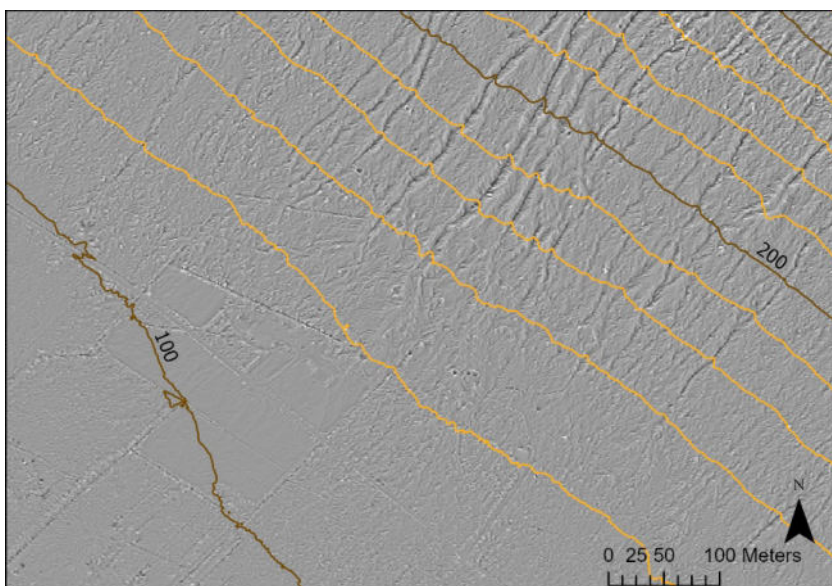
Vurderingen av området tar utgangspunkt i dagens terreng- og vegetasjonsforhold. Dersom vegetasjons- eller terrengforhold endrer seg vesentlig, må området vurderes på nytt. Også byggeaktivitet ved utbygging kan endre faren spesielt for flom- og sørpeskred dersom dreneringsveier blir endret.

A4.1 Terreng

Med dagens mer og mer tilgjengelige høyoppløselige LIDAR-data, spiller digitale terrengmodeller og produkter avledet fra dem en økende rolle i terrengvurdering. Disse utfyller feltobservasjoner og bidrar til å ekstrapolere lokale observasjoner til større områder. Eksempler på slike produkter inkluderer skyggekart ("Hillshade") representasjoner av digitale terrengmodeller (DTM), digitale overflatemodeller (DOM), helningskart, ruhetskart eller krumningskart.



Figur 4.1 Skyggekart fra DTM med 1 m oppløsning.



Figur 4.2 Krumningskart fra DTM med 1 m oppløsning.

Figur 4.1 viser et eksempel på et skyggekart og Figur 4.2 et eksempel på et krumningskart. Ved første øyekast viser begge figurene lignende mønstre. Imidlertid reflekterer krumningskartet endringen i overflaten og viser derfor overflateruheten mye tydeligere. Erosjon og avleiring av grønne former kan dermed også sees tydeligere. Begge representasjonsformer kan utfylle hverandre.

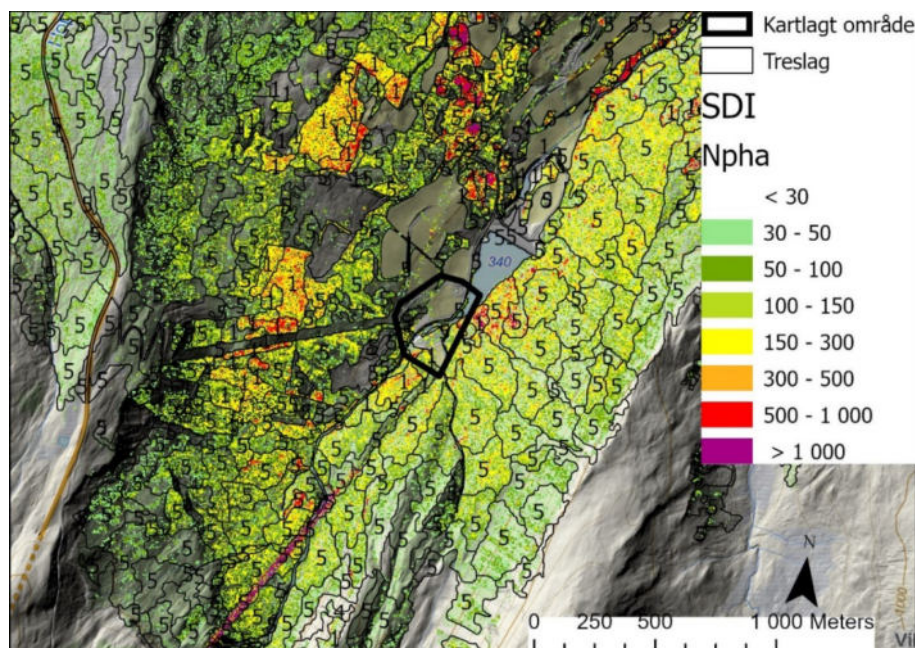
A4.2 Skog

Definisjon:

"Skog er et landområde dominert av trær som er minst 3 m høye og står mindre enn 30 m fra hverandre (Norsk definisjon av skog)."¹

"Areal med minst 6 trær per dekar som er eller kan bli 5 meter høye, og disse bør være jevnt fordelt på arealet."²

Høyoppløselige digitale terrengmodeller (DTM) og digitale overflatemodeller (DOM) kan brukes for å identifisere skog og kvantifisere skogforhold. Figur 4.3 viser et eksempel på beregnet skogtetthetsindeks (SDI, Stand Density Index) (Reinekes, 1933).³ Til dette formålet ble DTM og DOM brukt som inndata og ved hjelp av verktøyet FINT (Dorren et al., 2017)⁴ ble det forsøkt å identifisere individuelle trær og deretter ble SDI beregnet. Forklaringer av SDI er gitt nedenfor. Figur 4.4 viser et bilde av tilsvarende fjellside. De tettere og mindre tette skogstomtene kan tydelig sees.



Figur 4.3 SDI (dimensjon antall trær per hektar). Data beregnet fra DTM og DOM med 1 m oppløsning og ved hjelp av verktøyet FINT (Dorren et al., 2017). Tall i henhold til treslaget SATSKOG16: 1=grandominert, 2=furudominert, 3=barblanding, 4=blanding, 5=lauvdominert, 6=ikke tresatt og 7=ikke beregnet.

¹ Store Norske Leksjon

² Bjørndal, I. & Bjørkelo, K. (2006) AR5 Klassifikasjonssystem, Skog og Landskap, Skog og Landskap, 2006

³ Reineke, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forest Journal of Agricultural Research, 1933, 46, 627-638

⁴ Dorren, L.; Zuanon, N.; Ginzler, C. & Monnet, J.-M. FINT – Find Individual Trees: ecorisQ – International association for natural hazard risk management, ecorisQ – International association for natural hazard risk management, 2017



Figur 4.4 Bilde over området vist i Figur 4.3. En ser nylig hogd skog.

Generelt kan man anta at skog har en positiv effekt for å redusere frekvens og utbredelse/utløpslengde av skred i bratt terreng, men eksakt virkning er vanskelig å kvantifisere. Kravspesifikasjon til skogbestanden er forskjellig for de ulike faretypene, men generelt kan en si at det er ønskelig med en kontinuerlig høy grad av skogdekke.⁵ Treslaget har imidlertid også stor betydning. Intersepsjon av gran er høy på grunn av deres høye bladarealindeks (*Leaf area index, LAI*), noe som er gunstig for eksempel for beskyttelse mot snøskred. Samtidig er deres beskyttende effekt som grunnrotede planter lavere mot jordskred. Kravet om tilstrekkelig og sammenhengende skogdekke gjør at store jevnaldrende beplantede arealer kun i begrenset grad bidrar til å sikre mot naturfarer. For eksempel er avstanden mellom eldre gran med lik alder så stor at snøskred kan strømme gjennom relativt uhindret. Selv om dette sjelden skjer, er ikke faren på lang sikt ubetydelig.

Skog vil ha større effekt i utløsningsområder enn i utløpsområder. Men en kan ikke utelukke at snøskred kan løsne i skog dersom terrenget er brattere enn 30° - 35°. Dersom skred løsner *ovenfor* skoggrensen, men kommer ned i skog på sin vei er effekten av skogen mindre. Riktignok vil utløpslengde bli redusert, men skred kan også ødelegge store deler av skogen, avhengig av skredstørrelse.

Figur 4.5 viser bilder fra et snøskred i januar 2015 som ødela mer enn 10 hektar bjørkeskog av alder mellom 40 og 80 år med anslagsvis et volum på mellom 30 og 70 m³ pr. hektar.

Figur 4.6 til Figur 4.10 viser eksempler der skog ikke var tilstrekkelig for å hindre utløsning/utbredelse av skred.

⁵ Schwitter, R.; Frehner, M. & Wasser, B. (2014) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2014



Figur 4.5 Snøskred i januar 2015 som ødela mer enn 10 hektar bjørkeskog i nærhet av Fåberg, Jostedalen.



Figur 4.6 Et tørt snøskred har strømmet gjennom skogen. Snøavsetningene på trærne er tydelige. Det gir en indikasjon på flyttehøyden til skredet (bilde: Gallatin National Forest Avalanche Center, 2009).



Figur 4.7 Våtsnøskred i skogområde (bilde: Gallatin National Forest Avalanche Center/J. Watson, 2018).



Figur 4.8 Snøskred i skog. Vegetasjonsforhold på øvre del av skredbanen (bilde fra ⁶).

⁶ Abe, O.; Nakamura, K.; Sato, K. & Kosugi, K. (2016) Observation of Frequent Avalanches in Sekiyama Pass along Route and Assessment of Snowpack Stability on the Valley Slopes. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2016, 39-46



Figur 4.9 Utløpsområde til flomskred i skog.

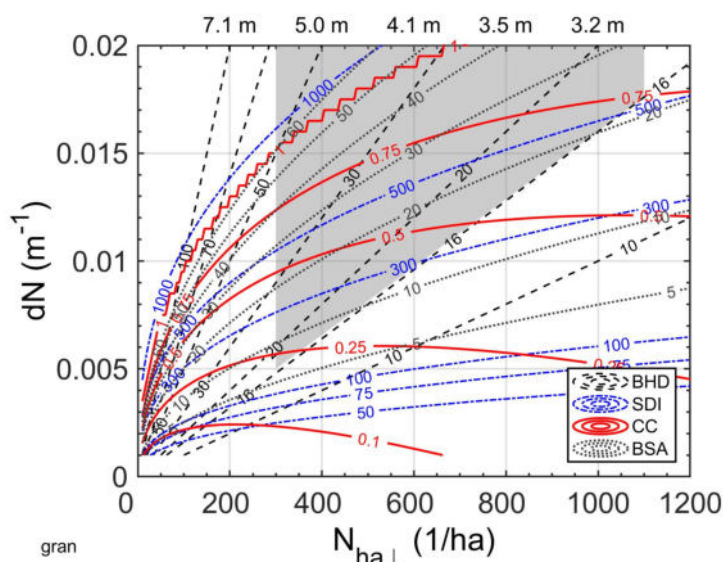


Figur 4.10 Jordskredbane gjennom skogsområde.

Først og fremst er effekten av skog bestemt av skogtettheten. En indikator er Reinekes (1933) skogtetthetsindeks (stand density index, SDI, med dimensjon antall trær per hektar). Den er basert på forholdet mellom antall trær per hektar og gjennomsnittlig diameter. SDI gir indeksen til den karakteristiske fordelingen av trærers størrelser i jevnaldrende skog. Skogtetthetsindeksen er vanligvis godt korrelert med skogens volum og vekst. Indeksen gir en indikasjon på tettheten av trær og dermed en indikasjon på kronedekning. Karakteristiske verdier er avhengig av treslag. For en tett granskog er SDI rundt 1000/ha og for en skog med rundt 50% kronedekning er SDI mellom 300/ha og

500/ha. For lauvskog om vinteren er kronedekning og sammenlignbar SDI generelt betydelig mindre og verneeffekten mot snøskred er begrenset også i utløsningsområdet. Figur 4.11 viser en noe typisk sammenheng mellom antall trær per hektar, dN, BHD, BSA, SDI, og kronedekning for gran. BSA er grunnflate av trestammer med enhet m² ha⁻¹. Lignende figurer finnes for furutrær og, tatt i betraktning mindre bladdekke om vinteren, for løvtrær.

Generelt kan en si at selv høyt skogdekke ikke kan forhindre alle snø-, jord- eller flomskred, men uten skog ville de ofte vært større. Skoghogstflater i bratt terreng kan bli mulige utløsningsområder for skred. Måltrettet bevaring av skog er derfor forutsetningen for en langsiktig beskyttende effekt av skogen.



Figur 4.11 Typisk sammenheng mellom antall trær per hektar, dN, BHD, BSA, SDI, og kronedekning (CC) for gran. Det grå skraverte området viser minimumskravene ifølge Meyer-Grass og Schneebeil⁷ for verneeffekter mot snøskred.

I skredbanen og utløpsområdet bidrar bremseeffekten av skog til å forkorte utløpslengden av skred. Ifølge Newtons tredje lov "actio = respons", er motstanden per m² skogareal, så lenge den står, gitt som:

$$F_{as} \approx \frac{d}{Dist^2} \max(H, h_f) \frac{c_D(Fr)}{2} \rho_f u_f^2, \quad (A4.1)$$

hvor:

- F_{as} motstandskraft per m² [N m⁻²]
- d trærers diameter [m]
- $Dist$ distanse mellom trær [m] ($D_{ist} = \sqrt{10^4 m^2 / N}$; N er antall trær per hektar)
- H høyde av trær [m]
- h_f flyttehøyde av skred [m]

⁷ Meyer-Grass, M. & Schneebeil, M. (1992) Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schnee-Verhältnissen. Internationales Symposium Interpraevent 1992-Bern, 1992

C_D	motstandskoeffisient
Fr	Froude tall
ρ_f	skredtetthet [kg m^{-3}]
u_f	skredhastighet [m s^{-1}]

Fra ligning (A4.1) ses betydningen av karakteristikkverdien dN i Figur 4.11 ⁸.

Også for steinsprang er det slik at jo tettere skogen er, jo større blir energitapet, noe som bidrar til en reduksjon i sannsynlig rekkevidde. Liggende trær kan også ha stor betydning for rekkevidde til steinsprang.

⁸ Ytterligere merknader kan også finnes i Issler, D.; Gauer, P.; Glimsdal, S.; Jaedicke, C.; Sandersen, F. & Gisnås, K. G. SP4 FoU Snøskred-ANNUAL REPORT 2019 Norwegian Geotechnical Institute, Norwegian Geotechnical Institute, 2020

Vedlegg B

MODELLBESKRIVELSE

Innhold

B1	Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av steinsprang	2
B1.1	RockyFor3D	2
B1.2	Empiriske modeller for steinsprangutløp	3
B2	Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av snøskred	5
B2.1	Statistisk-empirisk modell (α/β -modellen)	5
B2.2	RAMMS::AVALANCHE	7
B2.3	SAMOS-AT	8
B3	Beregning av skredutbredelse og rekkevidde av flom- og sørpeskred	12
B4	Beregning av skredutbredelse og rekkevidde av steinskred	13

B1 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av steinsprang

Beregningsmodeller er et viktig supplement ved plassering av faregrenser. Den viktigste kilde til fastsettelse av faregrenser er faglig skjønn basert på erfaring og observasjoner gjort under befarings og opplysninger om tidligere skredhendelser.

B1.1 RockyFor3D

På NGI har vi mange års erfaring med bruk av steinsprangmodellen Rockyfor3D i prosjekter hvor vi utfører faresonekartlegging. Rockyfor3D av ecorisQ simulerer enkeltblokkers bevegelse i tre dimensjoner ved å kombinere fysiske, deterministiske algoritmer med stokastiske tilnærminger^{1,2}. Modellen gir 3D-utbredelse av blokker, og er nyttig for å studere skredbaner med ulike sannsynligheter. Resultatene brukes gjerne som en støtte for våre vurderinger av utløp, rekkevidde og relativ sannsynlighet for skred på de ulike stedene i kartleggingsområdet.

Modellen inkluderer blokkform og -volum, og utløpsberegningene kan ta høyde for interaksjon med sikringstiltak og vegetasjon. Modellen og informasjon om modellutvikling er tilgjengelig for medlemmer av organisasjonen ecorisQ (se www.ecorisq.org for oversikt over publiserte artikler og presentasjoner på internasjonale konferanser).

Parametere som må inkluderes i modellen er kort beskrevet under:

- Terrengmodell
 - Terrengmodellen (raster) som ønskes brukt
- Beregningsområde
 - Et polygon som definerer hvilket område beregningene skal kjøres for
- Bakketype
 - Det er åtte forskjellige forhåndsdefinerte bakketyper som kan velges, for å beskrive de ulike underlag i skredbanen. Bakketypen gir elastisiteten til underlaget og er direkte knyttet til verdier for normalrestitusjon av modellen.
- Kildeområde
 - Ett eller flere polygon som angir potensielle kildeområder for steinsprang. Form og mål (lengde x bredde x høyde) på blokker må defineres for hvert kildeområde.
- Overflateruhet
 - Terrengets overflateruhet. Denne "ruheten" skal representere høyden på skredblokker som ligger i terrenget og utgjør hindringer i skredbanen. Ruheten angis som høyden (i meter) på hindringene over terrengoverflaten, representativ for 70%, 20% og 10% av det definerte bakketypepolygonet,

¹ Dorren L.K.A., 2012. Rockyfor3D (v5.1) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper. URL [\[www.ecorisq.org\]](http://www.ecorisq.org) : 31p.

² Dorren L.K.A., 2016. Rockyfor3D (v5.2) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper. URL [\[www.ecorisq.org\]](http://www.ecorisq.org) : 33p.

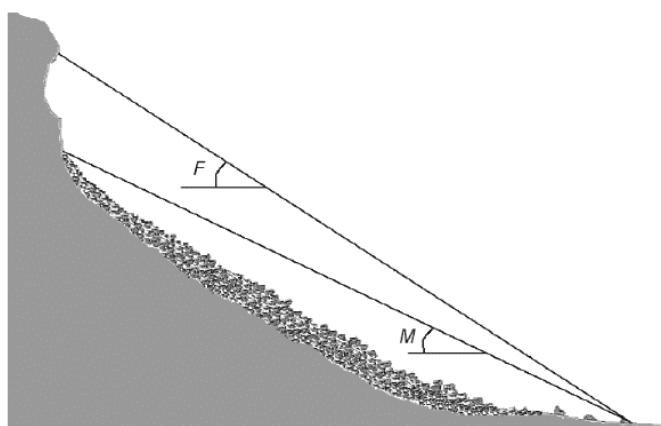
sett i blokkas fallretning. Dette måles objektivt, da programmet tar hensyn til blokkas størrelse i forhold til hindringene i terrenget. Overflateruheten brukes i modellen til å beregne tangentiell restitusjonskoeffisient, og denne parameteren bestemmer derfor energitap under støt med overflaten. Modellen er sensitiv til denne parameteren, og den må derfor undersøkes og bestemmes i felt.

- Antall simuleringer per celle
 - Antall blokker som simuleres fra hver celle i kildeområdet
- Variasjon av blokkvolum (%)
 - Gir mulighet til å legge inn variasjon av forhåndsdefinert blokkvolum
- Ekstra startfallhøyde (m)
 - Blokker kan gis ekstra oppstartsenergi ved å gi dem ekstra fallhøyde i starten

B1.2 Empiriske modeller for steinsprangutløp

Empiriske modeller er generelt basert på forhold mellom topografiske faktorer og rekkevidden av observerte steinsprang, og kan også kalles statistiske modeller. Disse kan brukes som grove anslag for maksimal rekkevidde for steinsprang.

To mye brukte sammenhenger er vinklene *Fahrböschung* (F) og *Minimum shadow angle* (M), som er vinkelen fra hhv. toppen av løseområdet og uren (talus apex) ned til ytre steinsprangblokk (Figur 1-1). Det er viktig at vinkelen måles i falllinjen til blokken. Vinkelen vil avhenge av underlag, hvor jevne/glatte underlag vil gi flatere vinkel.



Figur 1-1 *Fahrböschung* (F) og *Minimum shadow angle* (M)³

Fahrböschung (F) ble foreslått av Heim allerede i 1932⁴. Noen vanlige estimater for F , og resultater fra ulike studier:

³ Dorren, L.K.A. 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches, Progress in Physical Geography 27,1 (2003) pp. 69–87

⁴ Heim, A. (1932) Der Bergsturz und Menschenleben. Fretz und Wasmuth Verlag, Zürich, 218 p.

$F = 28-40^\circ$, hvor 95% stopper innen 32° ⁵

$F = 28,5^\circ$ ⁶

$F = 32^\circ$ ⁷

$F \geq 31^\circ$ for fjellsider 100 - 350 m høye⁸

$F \geq 35^\circ$ for fjellsider 350 - 650 m høye⁸

$F \sim 30^\circ$ (tommelfingerregel, NGI)

Minimum Shadow angle (M): Ved en sammenligning av flere studier ligger M vanligvis innenfor:

$M = 22-30^\circ$ ^{9,10,11,12}

$M = 28-30^\circ$ ¹¹

$M = 27,5^\circ$ ¹²

$M = 26,5^\circ$ ¹³

$M \sim 25^\circ$ (tommelfingerregel, NGI)

Runout ratio model er en sammenheng mellom maksimal rekkevidde for steinsprang og høyde på fjellsiden som ble funnet etter en studie av fjellsider og urer i Norge der mer enn 120 enkeltsprang ble studert, med hensikt å komme fram til geometriske metoder for beregning av rekkevidde for steinsprang¹⁴. Basert på dette studiet ble det funnet en sammenheng mellom rekkevidden S_1 relatert til høyden av fjellsiden H_{tot} : $S_1 = 1/3 H_{tot} + 25 \text{ m}$, der terrenget utenfor urfot (γ) er slakere enn 12° og høyden på fjellsiden H_{tot} er $> 100 \text{ m}$, se Figur 1-2.

⁵ Evans, S.G., Hungr, O., 1993. The Assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 1993, 30(4): 620-636.

⁶ Toppe, R. (1987) Terrain models: a tool for natural hazard mapping, in: *Avalanche formation, movement and effects*, edited by: Salm, B. and Gubler, H., International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK, 162, 629-638.

⁷ Onofri, R. and Candian, C. (1979): Indagine sui limiti di massima invasione di blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976, Reg. Aut. Friuli - Venezia Giulia, Cluet, 42 pp., 1979 (in Italian).

⁸ Domaas, U. 1994. Geometrical methods for calculating rockfall range. NGI rapport 585910-1.

⁹ Rapp, A. (1960). Recent Development of Mountain Slopes in Kärvevægge and Surroundings, Northern Scandinavia. *Geografiska Annaler* Vol. 42, No. 2/3 (1960), pp. 65-200.

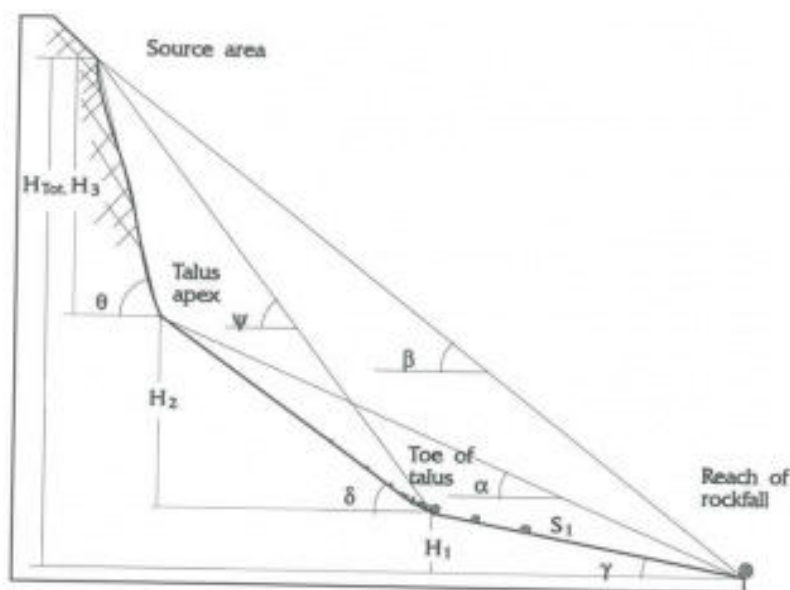
¹⁰ Govi, M. (1977). Photo-interpretation and mapping of the landslide triggered by the Friuli earthquake (1976). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 15: 67-72.

¹¹ Lied, K. (1977): Rockfall problems in Norway, in: *Rockfall dynamics and protective work effectiveness*, ISMES, Bergamo, 90, 51-53.

¹² Evans, S.G., Hungr, O., 1993. The Assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 1993, 30(4): 620-636.

¹³ Hestnes, E. (1978) Forsøk med steinsprang. NGI-rapport 54702-2. Oslo: Norges geotekniske institutt.

¹⁴ Keylock, C. og Domaas, U. (1999) Evaluation of Topographic Models of Rockfall Travel. Distance for Use in Hazard Applications. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, Vol. 31, No 3. 312 - 320.



Figur 1-2. Definisjon av topografiske parametere som beskriver terrengprofilet¹⁵

B2 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av snøskred

Modellene som oftest blir brukt for utløpsberegninger av snøskred i Norge er den topografisk statistiske α/β -modellen¹⁶, blokkmodellen PCM¹⁷ og strømningsmodellen RAMMS¹⁸ som beskriver utbredelsen av skredet i to horisontale dimensjoner.

B2.1 Statistisk-empirisk modell (α/β -modellen)

Den statistiske/topografiske α/β -modellen er utviklet ved NGI og gir maksimal utløpsdistanse utelukkende som en funksjon av topografi. Likningene for utløpsdistanse er funnet ved regresjonsanalyse, og korrelerer den lengste registrerte utløpsdistanse i mer enn 200 skredbaner med et utvalg av topografiske parametere. Parameterne som har vist seg å være mest betydningsfulle er gitt Tabell 2-1.

¹⁵ Domaas, U. 1994. Geometrical methods for calculating rockfall range. NGI rapport 585910-1.

¹⁶ Lied, K. og Bakkehøi, S. (1980). Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-Out Distance Based on Topographic Parametres. Journal of Glaciology, 26 (94), 165-177.

¹⁷ Perla, R.I., Cheng, T.T. og McClung, D.M. 1980. A Two-Parameter Model of Snow-Avalanche Motion. Journal of Glaciology Vol. 26, No. 94, 197-207.

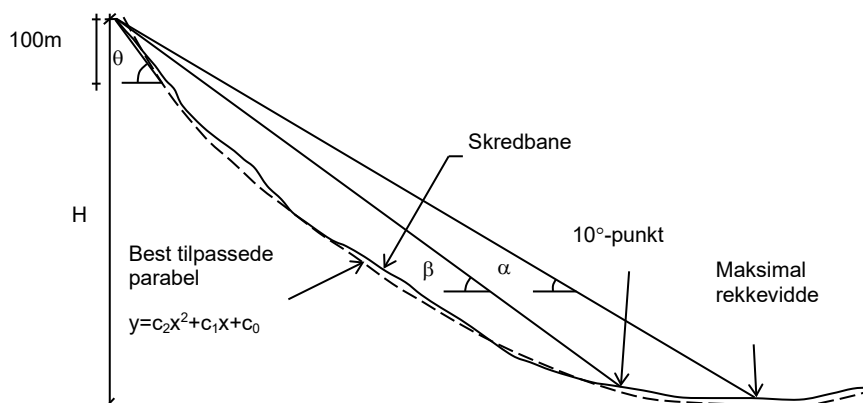
¹⁸ Christen, M., Kowalski, J. og Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Regions Science and Technology 63(1-2), 1-14.

Tabell 2-1 Topografiske parametere for beregning av maksimal utløpsdistanse

Symbol:	Parameterbeskrivelse:
β (grader)	Gjennomsnittlig helning av skredbanen mellom øvre del av utløsningsområdet og "fjellfoten" (punktet med 10° helning i skredbanen)
θ (grader)	Helning av de øvre 100 høydemetrene av utløsningsområdet
H (m)	Total høydeforskjell mellom øvre del av utløsningsområdet og det laveste punktet langs best tilpassede parabel $y=c_2x^2+c_1x+c_0$, der c_0 , c_1 og c_2 er konstanter
y'' (m^{-1})	$y''=2c_2$, beskriver krumningen av skredbanen

β -vinkelen har vist seg å gi den beste beskrivelsen av helningen i skredbanen, og regresjonsanalyse har vist at β -vinkelen også er den eneste statistisk viktige terrengparameteren. β -vinkelen kan anses av gjennomsnittlig helning av skredbanen mellom øvre del av kildeområdet og "fjellfoten" (punktet med 10° helning i skredbanen). Modellen aksepterer kun β -punkt som er innenfor den delen av skredbanen der tangenten til den best tilpassede parabelen har en helning mellom 5° og 15°.

NGIs skreddatabase inneholder i dag ca. 230 tilfeller. Den mest brukte formen av α/β -modellen er i dag $\alpha=0.96\beta-1.4^\circ$. Standardavviket er 2.3° og korrelasjonskoeffisienten er 0.92.



Figur 2-1: Topografiske parametere som beskriver terrengprofilet.

For store skredbaner finner vi erfaringsmessig at rekkevidden for de fleste skredbanene med årlig sannsynlighet 1/1000 samsvarer godt med middelverdien av α der skredbanen er jevn parabel, mens de største skredene kan gå lengre.

B2.2 RAMMS::AVALANCHE

Utløpslengden av skred er vurdert med den dynamiske modellen RAMMS^{19,20}. RAMMS-modellen for simulering av utbredelse av skredets tette del har gått gjennom en lang prosess med uttesting og kalibrering mot målinger og observasjoner av snøskred i Alpene. I tillegg har NGI utført en del kalibreringer mot målinger fra NGIs forsøksfelt Ryggfonn på Strynefjellet.

Som friksjonsparametre på nye steder er standardverdiene for sjeldne og store skred i Sveits benyttet, korrigert for høyde over havet. Parameterne er avhengig av skredstørrelse, antatt returperiode og terrengforhold som helning og kanalisering av skredbanene (RAMMS Manual Ver. 1.4.1²¹). Friksjonsparameterne ξ og μ svarer til store skred (Large) med 300 års gjentakintervall. Tabell 2-2 gjengir verdier for store og middels skred. Der skredbaner i modellene er beregnet med hensyn til skog er friksjonsparametere tilpasset til skogstetthet og stammediameter. Disse friksjonsparameterne avviker fra den som er gitt i Tabell 2-2. I anvendt modell er erosjon og meddriving av snø i skredbanen ikke inkludert (entrainment). Beregningene tar generelt ikke hensyn til bebyggelse. Skredvolumet i simuleringsmodellen er en direkte funksjon av løsearealet. I botner kan dette gi svært store teoretiske løseområder. Generelt sett gjengir modellen skredenes utløpsdistanse godt, men studier viser at RAMMS har en tendens til å undervurdere hastigheten av skredets front, som består av et fluidisert lag med betydelig redusert tetthet (Schaerer og Salway, 1980; Bozhinskiy og Losev, 1998; Issler m.fl., 1996; Issler, 2003; Gauer m.fl., 2008; Issler og Gauer, 2008).

¹⁹ Christen, M.; Kowalski, J. og Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology* 63(1–2), 1–14.

²⁰ RAMMS Manual Ver 1.4.1. Det sveitsiske institutt for snø- og snøskredforskning (WSL-SLF), Davos Dorf, Sveits.

²¹ RAMMS Manual Ver 1.4.1. Det sveitsiske institutt for snø- og snøskredforskning (WSL-SLF), Davos Dorf, Sveits.

Tabell 2-2: Friksjonsparametere for RAMMS snø avhengig av returperiode, skredvolum og kanaliseringsgrad

RAMMS::Avalanche 1.1

Friction Parameters

Large avalanche (> 60'000 m ²)		300-Year		100-Year		30-Year		10-Year	
	Altitude (m.a.s.l.)	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ	μ	ξ
unchannelled	above 1500	0.155	3000	0.165	3000	0.17	3000	0.18	3000
	1000 - 1500	0.17	2500	0.18	2500	0.19	2500	0.2	2500
	below 1000	0.19	2000	0.2	2000	0.21	2000	0.22	2000
channelled	above 1500	0.21	2000	0.22	2000	0.225	2000	0.235	2000
	1000 - 1500	0.22	1750	0.23	1750	0.24	1750	0.25	1750
	below 1000	0.24	1500	0.25	1500	0.26	1500	0.27	1500
gully	above 1500	0.27	1500	0.28	1500	0.29	1500	0.3	1500
	1000 - 1500	0.285	1350	0.3	1350	0.31	1350	0.325	1350
	below 1000	0.3	1200	0.315	1200	0.33	1200	0.345	1200
flat	above 1500	0.14	4000	0.15	4000	0.155	4000	0.165	4000
	1000 - 1500	0.15	3500	0.16	3500	0.17	3500	0.18	3500
	below 1000	0.17	3000	0.18	3000	0.19	3000	0.2	3000
Medium avalanche (25'000 - 60'000)		300-Year		100-Year		30-Year		10-Year	
unchannelled	above 1500	0.195	2500	0.205	2500	0.215	2500	0.225	2500
	1000 - 1500	0.21	2100	0.22	2100	0.23	2100	0.24	2100
	below 1000	0.23	1750	0.24	1750	0.25	1750	0.26	1750
channelled	above 1500	0.25	1750	0.26	1750	0.27	1750	0.28	1750
	1000 - 1500	0.27	1530	0.28	1530	0.285	1530	0.295	1530
	below 1000	0.28	1350	0.29	1350	0.3	1350	0.31	1350
gully	above 1500	0.32	1350	0.33	1350	0.34	1350	0.35	1350
	1000 - 1500	0.33	1200	0.34	1200	0.35	1200	0.36	1200
	below 1000	0.36	1100	0.37	1100	0.38	1100	0.39	1100
flat	above 1500	0.17	3250	0.18	3250	0.19	3250	0.2	3250
	1000 - 1500	0.19	2900	0.2	2900	0.21	2900	0.22	2900
	below 1000	0.21	2500	0.22	2500	0.23	2500	0.24	2500
forested area (mu=delta, xi=fix)		0.02	400	0.02	400	0.02	400	0.02	400

SLF, December 2007

B2.3 SAMOS-AT

SAMOS-AT, utviklet i 2007 ved AVL List GmbH i Østerrike, er etterfølgeren av SAMOS, som var i bruk fra 1999^{22,23}. En kort beskrivelse av modellen finnes i²⁴. Sampl og Granig, mens Sailer m.fl.²⁵ og Granig m.fl.²⁶ (2009) gir informasjon om validering og eksempler. Modellen kobler sammen en kvasi-3D (dybdemidlet) modell for den tette delen av snøskred og en 3D modell for snøskya, dvs. det turbulente laget av relativt lav tetthet som utvikler seg på overflaten av tørre snøskred.

Som i RAMMS::AVALANCHE eller MoT-Voellmy beskrives bevegelsen av *skredets tette del* gjennom ligninger for masse- (1 ligning) og impulsbevaring (2 ligninger tilsvarende retningene langs terrengoverflaten):

²² Zwinger, T.; Kluwick, A. & Sampl, P. (2003) Numerical Simulation of Dry-Snow Avalanche Flow over Natural Terrain, Dynamic Response of Granular and Porous Materials under Large and Catastrophic Deformations, Springer Basel AG, 2003, 11, 161-194

²³ Sampl, P. & Zwinger, T. (2004) Avalanche simulation with SAMOS, Annals of Glaciology, Int Glaciological Soc, 2004, 38, 393-398

²⁴ Sampl, P., og Granig, M. (2009). Avalanche simulation with SAMOS-AT. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop Davos 2009. Sider 519–523

²⁵ Sailer, R., Fellin, W., Fromm, R., Jörg, Ph., Rammer, L., Sampl, P. og Schaffhauser, A. (2008). Snow avalanche mass-balance calculation and simulation-model verification. Annals of Glaciology 48, 183–192

²⁶ Granig, M. & Sauermoser, S. (2008) Ein Erfahrungsbericht über die Lawinenmodellierung aus der aktuellen praktischen Arbeit der WLV
Wildbach- und Lawinenverbau (Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs), 2009, 73, 142-151

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = \frac{j_e}{\rho} - \frac{j_s}{\rho},$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = hg_x + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(h\bar{\sigma}_{xx})}{\partial x} - \frac{\sigma_{xz}^b}{\rho} + \frac{\sigma_{xz}^s}{\rho} - \frac{F_x^{\text{obs}}}{\rho},$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = hg_y + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(h\bar{\sigma}_{yy})}{\partial y} - \frac{\sigma_{yz}^b}{\rho} + \frac{\sigma_{yz}^s}{\rho} - \frac{F_y^{\text{obs}}}{\rho}.$$

I disse ligningene er h flytehoøyden, $\mathbf{u} = (u, v)$ den dybdemidlede hastigheten, $\mathbf{g} = (g_x, g_y, g_z)$ tyngdeakselerasjonen, $\bar{\sigma}_{xx}$ og $\bar{\sigma}_{yy}$ de dybdemidlede normalspenningene langs bakken, σ_{xz}^b og σ_{yz}^b skjærspenningene langs bakken, σ_{xz}^s og σ_{yz}^s skjærspenningene langs overflaten til det tette laget. j_e og j_s er henholdsvis erosjons- eller medrivningsraten og suspenderings- eller oppvirvlingsraten (denne snøen danner snøskya) målt i $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$, og $\mathbf{F}^{\text{obs}}$ omfatter motstand fra skog eller steinblokker i banen.

Som i MoT-Voellmy, antas det at normalspenningene parallelt med bakken er lik det hydrostatiske trykket,

$$\bar{\sigma}_{xx} = \bar{\sigma}_{yy} = \bar{\sigma}_{zz} = \frac{1}{2} \rho h (|g_z| + \kappa \mathbf{u}^2).$$

Skjærspenningen langs bakken ligner på uttrykket brukt i modeller av Voellmy-type med en hastighetsuavhengig Coulomb-friksjon og en del som er proporsjonal med $\mathbf{u}^2$, men det finnes flere modifikasjoner:

$$(\sigma_{xz}^b, \sigma_{yz}^b) = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} \left[\tau_0 + \mu \left(1 + \frac{R_{s0}}{R_{s0} + R_s} \right) \bar{\sigma}_{zz} + \frac{\rho \mathbf{u}^2}{\left(\frac{1}{k} \ln \frac{h}{R_D} + B_D \right)^2} \right]$$

τ_0 er en skjærstyrke i snøen som brukes for små skred for at de skal stoppe tidligere. Faktoren som multipliserer μ , lar Coulomb-friksjonen variere fra $2\mu\bar{\sigma}_{zz}$ ved $R_s = 0$ til $\mu\bar{\sigma}_{zz}$ ved $R_s \rightarrow \infty$. R_s beskriver graden av fluidisering som forholdet mellom $\rho \mathbf{u}^2$ og σ_{zz}^b , med antagelsen at $\rho \mathbf{u}^2$ er proporsjonal med det dispersive trykket som skyldes sammenstøt mellom snøpartikler pga. tøyning i skredet. I den siste termen erstattes g/ξ i RAMMS (eller k i MoT-Voellmy) med et fluiddynamisk uttrykk for motstandskoeffisienten til en turbulent grenselagsstrømning over en ru overflate. $k = 0,43$ er von Kármáns konstant, R_D overflateruheten (en lengde), og B_D en empirisk konstant. Parameternes standardverdier er $\tau_0 = 0$, $\mu = 0,155$, $R_{s0} = 0,222$, $R_D = 0,1$ m og $B_D = 4,13$. Med disse verdiene er koeffisienten til den turbulente motstanden (siste term i ligningen) lik 0,011 ved $h = 1$ m og 0,0068 ved $h = 2$ m.

Sett fra snøskya, virker den tette delen som en ru overflate i bevegelse. Med dette og en antatt logaritmisk hastighetsprofil i den laveste delen av snøskya er skjærspenningen ($\sigma_{xz}^s, \sigma_{yz}^s$) gitt av et uttrykk som ligner på ($\sigma_{xz}^b, \sigma_{yz}^b$). Lufttettheten brukes imidlertid istedenfor den tette delens tetthet, og hastighetsdifferansen $\Delta \mathbf{u}$ mellom snøskya på en

referansehøyde y ovenfor grenseflaten og hastigheten i den tette delen brukes istedenfor den dybdemidlede hastigheten i den tette delen:

$$(\sigma_{xz}^s, \sigma_{yz}^s) = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} \frac{\rho_a (\Delta \mathbf{u})^2}{\left(\frac{1}{k} \ln \frac{y}{R_p} + B_p\right)^2}.$$

For R_p brukes en formel med tre empiriske konstanter for å ta med effekten av overflate-ruheten og av hoppende snøpartikler. Konstanten B_p er satt til 8,5.

I SAMOS-AT er medrivning av snødekket lokalisert ved fronten av skredet, og erosjonsdybden spesifisert av brukeren. Den eroderte massen fordeles mellom den tette delen og snøskya i forhold til Froude-tallet og flyte- og høyden (for detaljer se (Sailer m.fl., 2002)). Den tette delen mister også masse pga. suspensjon til snøskya, som antas å være proporsjonal med skjærspenningen σ^s , konsentrasjonsdifferansen mellom det tette laget og snøskya, Δc , og motstandskoeffisienten av snøpartiklene, $C_d \sim 3$, men invers proporsjonal med hastighetsdifferansen mellom lagene, $\|\Delta \mathbf{u}\|$, og partikkelstørrelsen, $d_p \sim 0,8$ mm:

$$j_s = -\alpha \frac{\|\sigma^s\| C_d}{\|\Delta \mathbf{u}\| d_p}.$$

Proporsjonalitetskoeffisienten er satt til 0,01 m. Modellen tillater imidlertid suspensjon av snøpartikler kun hvis overflaten av det tette laget er ristet sterkt nok; betingelsen er at partiklenes Froude-tall, $Fr_p = \mathbf{u}^2/|g_z|$, er større enn ca. 400.

Motstanden fra trær eller steinblokker i banen beregnes som

$$\mathbf{F}^{\text{obs}} = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} c_w n D h \rho \frac{\mathbf{u}^2}{2},$$

med konstant motstandskoeffisient c_w , som gjelder tilnærmet ved høye Reynolds-tall, men trolig ikke i granulære masser.

Snøskya behandles som en to-fasers blanding av luft og ispartikler. SAMOS-AT beregner bevegelsen av luften og av partiklene separat. For luften løses massebevaring og Navier–Stokes-ligningen for middelverdiene av tetthet og hastighet, med et stort bidrag fra turbulensen til den effektive viskositeten, η_{eff} :

$$\partial_t \rho + \partial_j (\rho u_j) = 0,$$

$$\partial_t (\rho_a u_i) + \partial_j (\rho_a u_i u_j) = \rho g_i - \partial_i p + \partial_j [\eta_{\text{eff}} (\partial_j u_i + \partial_i u_j)] - f_i^{\text{obs}} - f_i^p$$

(For enkelthets skyld brukes det tensornotasjon med implisitt summering over like indekser). Turbulens er simulert gjennom k - ε -modellen med to ligninger for den turbulente kinetiske energien, K , og dissipasjonen, ε ; for detaljer om denne turbulensmodellen se f.eks. Rodi (1984). Sammen med den molekylære viskositeten av luft, $\eta_a \sim 2 \times 10^{-5}$ kg/(m s), og konstanten $C_\mu = 0,09$ resulterer

$$\eta_{\text{eff}} = \eta_a + C_\mu \rho \frac{K^2}{\epsilon}.$$

For motstanden av objekter som trær brukes en analog formel som for den tette delen, men med luftens tetthet istedenfor skredets:

$$f_i^{\text{obs}} = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} c_w n D \rho_a \frac{\mathbf{u}^2}{2}.$$

Relativbevegelsen mellom luft og partikler fører til en volumkraft f_i^p som henger sammen med den gjennomsnittlige motstanden av en partikkel, $\mathbf{F}_p$ (omtalt lenger nede), gjennom den volumetriske partikkelkonsentrasjonen c og partikkelvolumet V_p som

$$\mathbf{f}^p = \frac{c}{V_p} \mathbf{F}_p.$$

Skjærspenningen σ^s og suspenderingsraten j^s/ρ_p brukes som randbetingelser.

For snøpartiklene i snøskya løses bevegelsesligningene for punktmasser, men hvert simulert massepunkt tilsvarer et ensemble av partikler med en samlet masse på typisk 100 kg eller omtrent 10^9 snøpartikler:

$$m_p \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{F}_p + m_p \mathbf{g}.$$

Motstandskraften på en partikkel beregnes fra

$$F_p = \frac{1}{2} C_d \rho_a (\Delta \mathbf{v})^2 \frac{\pi}{4} d_p^2 \frac{\Delta \mathbf{v}}{\|\Delta \mathbf{v}\|}.$$

Relativhastigheten mellom luft og partikkel fluktuerer pga. turbulens. Ved å dele opp $\mathbf{u}$ i middelvei og fluktuasjon, $\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$, finner man $(\Delta \mathbf{v})^2 = (\bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}' - \mathbf{v})^2 = (\bar{\mathbf{u}} - \mathbf{v})^2 + \mathbf{u}'^2 = (\bar{\mathbf{u}} - \mathbf{v})^2 + 2K/3$. SAMOS-AT implementerer i tillegg en innviklet metode med tilfeldig valg av en fluktuasjons- eller virvelhastighet og -retning som partiklene følger over en (relativt kort) tid²⁷.

Den numeriske implementeringen av SAMOS-AT omfatter følgende elementer:

- Et regulært grid med celler på typisk $5 \times 5 \text{ m}^2$ brukes for å representere terrenget og resultatene for det tette laget.
- Et grovere grid (typisk $10 \times 10 \text{ m}^2$) fra terrengmodellen, som utvides til den tredje dimensjonen med typisk 20 lag av celler benyttes for å simulere snøskya. Høyden av disse cellene øker oppover fra rundt 2 m nederst.
- Bevegelsen av den tette delen simuleres med hjelp av metoden Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), som brukes også i flere andre skredmodeller; se (Monaghan, 1992) for en beskrivelse. Strømningen simuleres ved å følge bevegelsen av representative massepakker og å interpolere feltverdiene med hjelp av såkalte kjernefunksjoner med spesifikke egenskaper. Hver representative massepakke tilsvarer typisk rundt 0.25 m av skredsnø.

²⁷ Sampl, P., og Granig, M. (2009). Avalanche simulation with SAMOS-AT. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop Davos 2009. Sider 519–523

- 7 I snøskya løses ligningene for luften gjennom en implisitt finite-volum-metode og ligningene for partiklene gjennom eksplisitt tidsintegrering.

I tillegg til den beskrevne skjærspenningsmodellen, tillater SAMOS-solver også implementering av andre skjærspenningsmodeller. Som et resultat er Samos relativt fleksibel og kan også håndtere andre gravitasjonsstrømmer, for eksempel flomskred eller Sørpeskred.

For beregning av skredutbredelse og rekkevidde av tørre snøskred har vi brukt blant annet en Coulomb-friksjons lov kombinert med snø medrivning, ifølge²⁸.

$$(\sigma_{xz}^b, \sigma_{yz}^b) = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} \mu \bar{\sigma}_{zz}$$

B3 Beregning av skredutbredelse og rekkevidde av flom- og sørpeskred

Spredning og rekkevidde av flom- og sørpeskred er vurdert blant annet med den dynamiske modellen RAMMS^{29,30}. Hensikten er ikke å dimensjonere, men å finne terrengets sprednings- og avsetningsegenskaper. Den numeriske modellen er identisk med snøskredmodellen, og ved å redusere Mu of Xi verdiene, oppnås hastigheter og flythøyder tilpasset vannbårne skred. Det vil si at Mu settes til 0,2 og Xi til 300 - 700. Mu-verdien påvirker sterkt lengden på retardasjonsområdet/oppbremsingsområdet, og gir i realiteten utbredelsen av skredmassene. For sørpeskred vil Xi kunne bli mye høyere, samtidig er effektiv Xi betydelig mindre og har tilsvarende egenskap som for vann. På lange utløp med store høydeforskjeller vil sørpeskred kunne endre egenskaper fra sørpe til vann og flomskred. For antatt sørpeskred er det benyttet en tetthet på 900 kg/m³ mens det for reinere flomskred er benyttet 1400 kg/m³.

Spredning og rekkevidde av flom- og sørpeskred er i tillegg vurdert med den dynamiske modellen SAMOS²⁷. Hensikten er ikke å dimensjonere, men å finne terrengets sprednings- og avsetningsegenskaper. Den numeriske modellen er tilpasset til et Bingham-Coulomb³¹ type modell:

$$(\sigma_{xz}^b, \sigma_{yz}^b) = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} \left[3 * M_B \frac{\|\mathbf{u}\|}{h} + 1.5 \tau_y + \mu \bar{\sigma}_{zz} \right]$$

²⁸ Gauer, P. (2020) Considerations on scaling behavior in avalanche flow: Implementation in a simple mass block model *Cold Regions Science and Technology*, **2020**, 180, 103165

²⁹ Christen, M.; Kowalski, J. og Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology* **63**(1–2), 1–14.

³⁰ RAMMS Manual Ver 1.4.1. Det sveitsiske institutt for snø- og snøskredforskning (WSL-SLF), Davos Dorf, Sveits.

³¹ Chen, H. & Lee, C. F. (2002) Runout analysis of slurry flows with Bingham model, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **2002**, 128, 1032-1042

Med M_B er Bingham viskositet, τ_y er skjærsterke, μ er Coulomb friksjons faktor. Model også inkluderer medrivning.

På lange utløp med store høydeforskjeller vil sørpeskred kunne endre egenskaper fra sørpe til vann og flomskred. For antatt sørpeskred er det benyttet en tetthet på 700 kg/m^3 mens det for reinere flomskred er benyttet 1500 kg/m^3 .

B4 Beregning av skredutbredelse og rekkevidde av steinskred

Spredning og rekkevidde av steinskred er vurdert blant annet med den dynamiske modellen SAMOS²⁷. Hensikten er ikke å dimensjonere, men å finne terrengets sprednings- og avsetningsegenskaper. Den numeriske modellen er tilpasset til et Coulomb³² type modell:

$$(\sigma_{xz}^b, \sigma_{yz}^b) = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} \mu \bar{\sigma}_{zz}$$

Coulomb friksjons faktor μ er bestemt etter Scheidegger³³ avhengig av antatt volumet. For antatt steinskred er det benyttet en flyttetetthet på 2000 kg/m^3 .

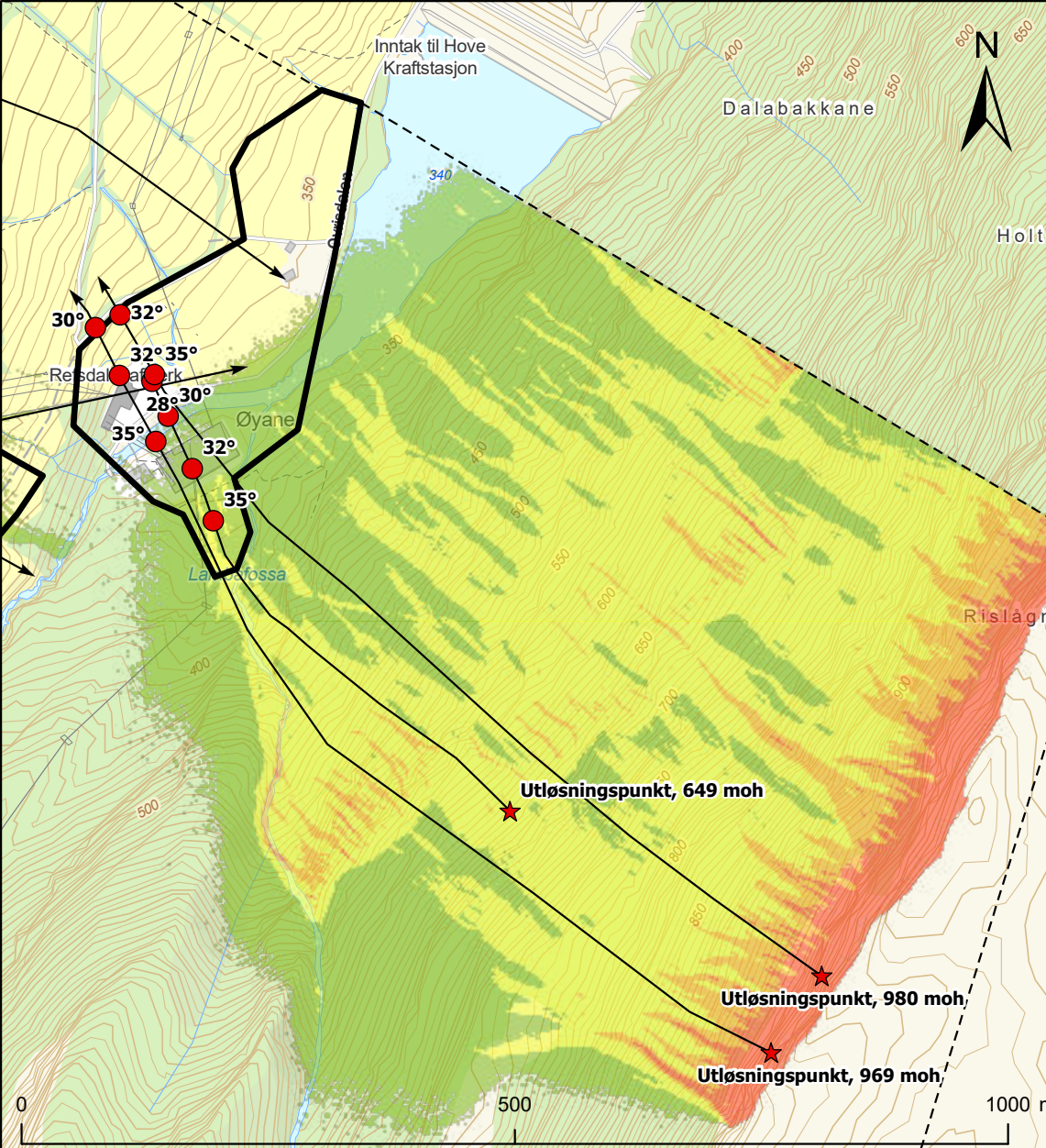
³² Chen, H. & Lee, C. F. (2002) Runout analysis of slurry flows with Bingham model, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **2002**, 128, 1032-1042

³³ Scheidegger, A. E. On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides, *Rock Mechanics*, **1973**, 5, 231-236

Vedlegg C

MODELLERINGSKART





Tegnforklaring

--- Påvirkningsområde

▮ Kartlagt område

→ Skredprofil

Vinkelpunkt

● Vinkel til utløsningspunkt

★ Utløsningspunkt

Reach probability

≤ 1

≤ 1.5

≤ 3

≤ 5

≤ 10

Alternativ Nord

Modelleringsresultater steinsprang

Blokkvolum: 1 m³

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprojeksjon	
A3 1:5,856		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

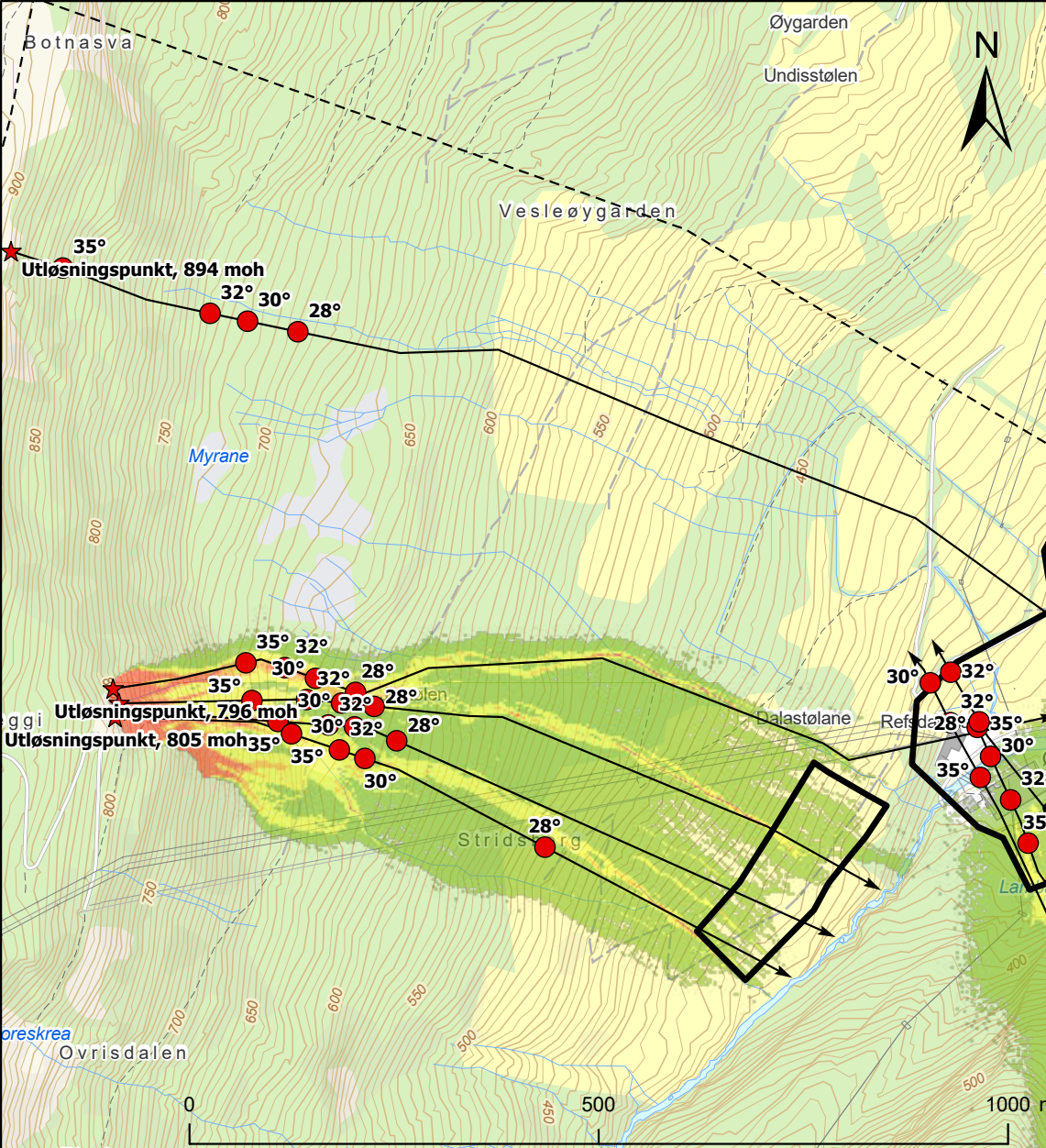
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO

Sognsveien 72

Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48

www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Skredprofil

Vinkelpunkt

- Vinkel til utløsningspunkt
- ★ Utløsningspunkt

Reach probability

- ≤ 1
- ≤ 1.5
- ≤ 3
- ≤ 5
- ≤ 10

Alternativ Sør

Modelleringsresultater steinsprang

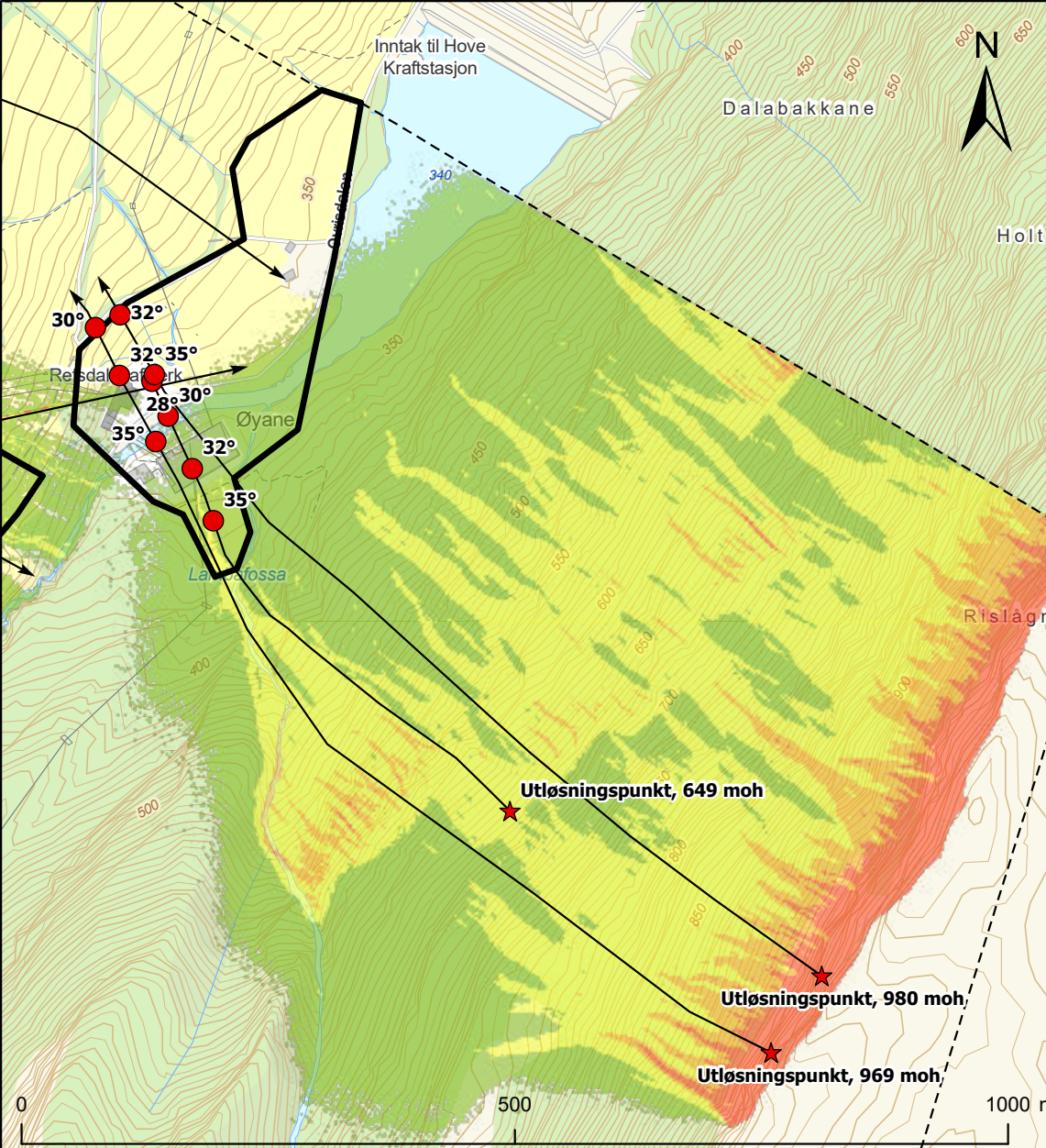
Blokkvolum: 1 m³

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:7,056	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

--- Påvirkningsområde

▮ Kartlagt område

→ Skredprofil

Vinkelpunkt

● Vinkel til utløsningspunkt

★ Utløsningspunkt

Reach probability

≤ 1

≤ 1.5

≤ 3

≤ 5

≤ 10

Alternativ Nord

Modelleringsresultater steinsprang

Blokkvolum: 5 m³

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprosjeksjon		
A3 1:5,856	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

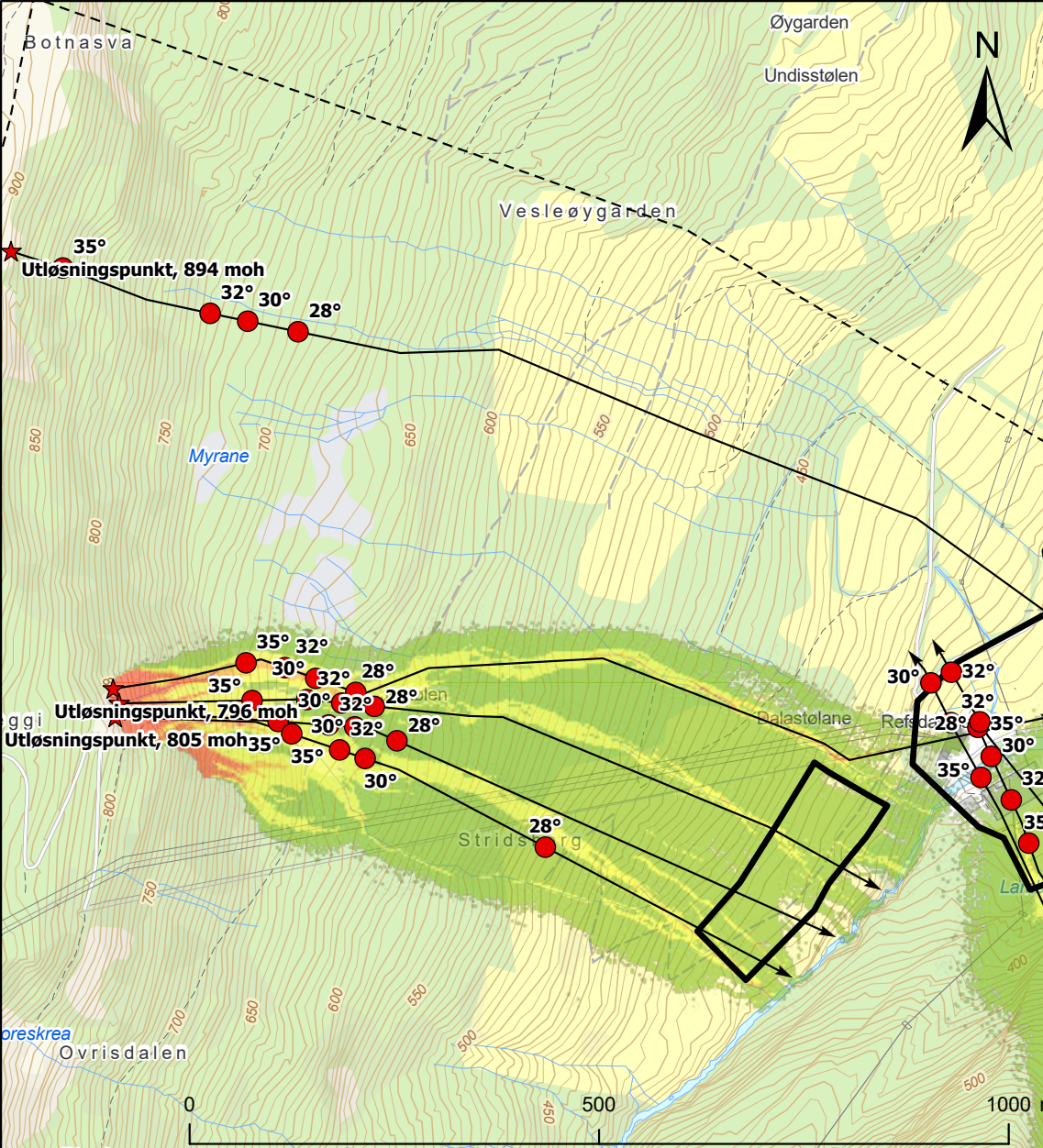
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO

Sognsveien 72

Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48

www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Skredprofil

Vinkelpunkt

- Vinkel til utløsningspunkt
- ★ Utløsningspunkt

Reach probability

- ≤ 1
- ≤ 1.5
- ≤ 3
- ≤ 5
- ≤ 10

Alternativ Sør

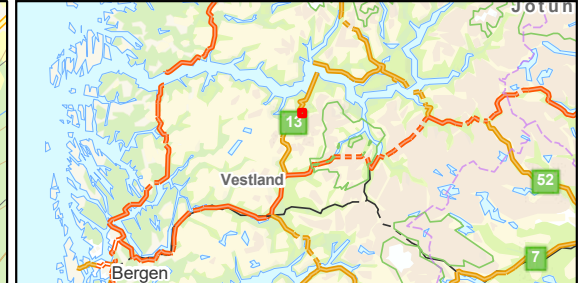
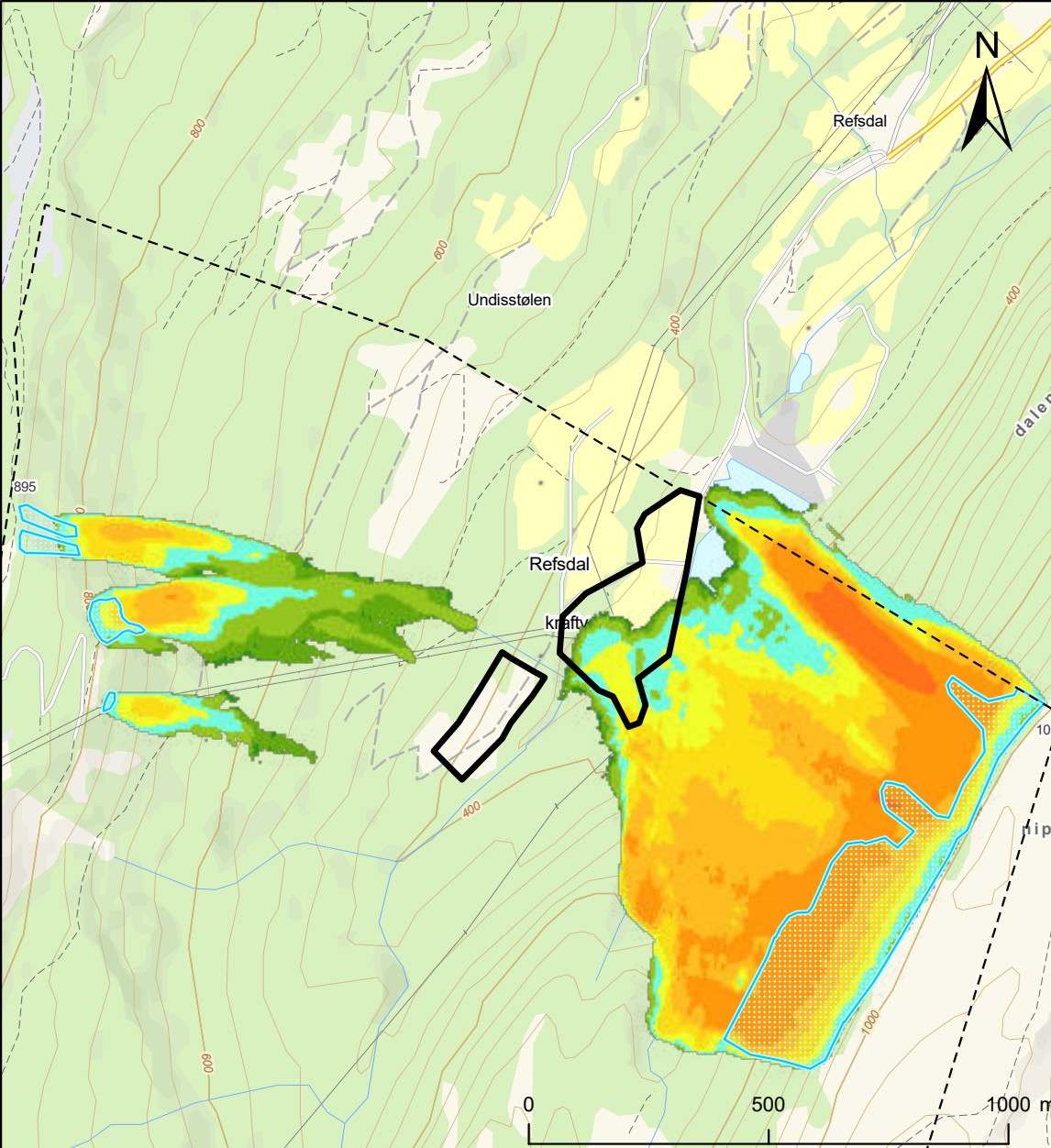
Modelleringsresultater steinsprang
Blokkvolum: 5 m³

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprojeksjon	
A3 1:7,056		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

[Dashed line] Påvirkningsområde

[Solid black line] Kartlagt område

[Blue outline] Løsneområder snøskred

Maksimal Hastighet (RD:2.5_L_300_Skog)
m/s

<= 1

1 - 2.5

2.5 - 5

5 - 10

10 - 15

15 - 20

20 - 25

25 - 30

30 - 40

40 - 50

> 50

Alternativ Nord og Sør

Modelleringsresultater snøskred

DEM: 5 m, Returperiode: 300 år,

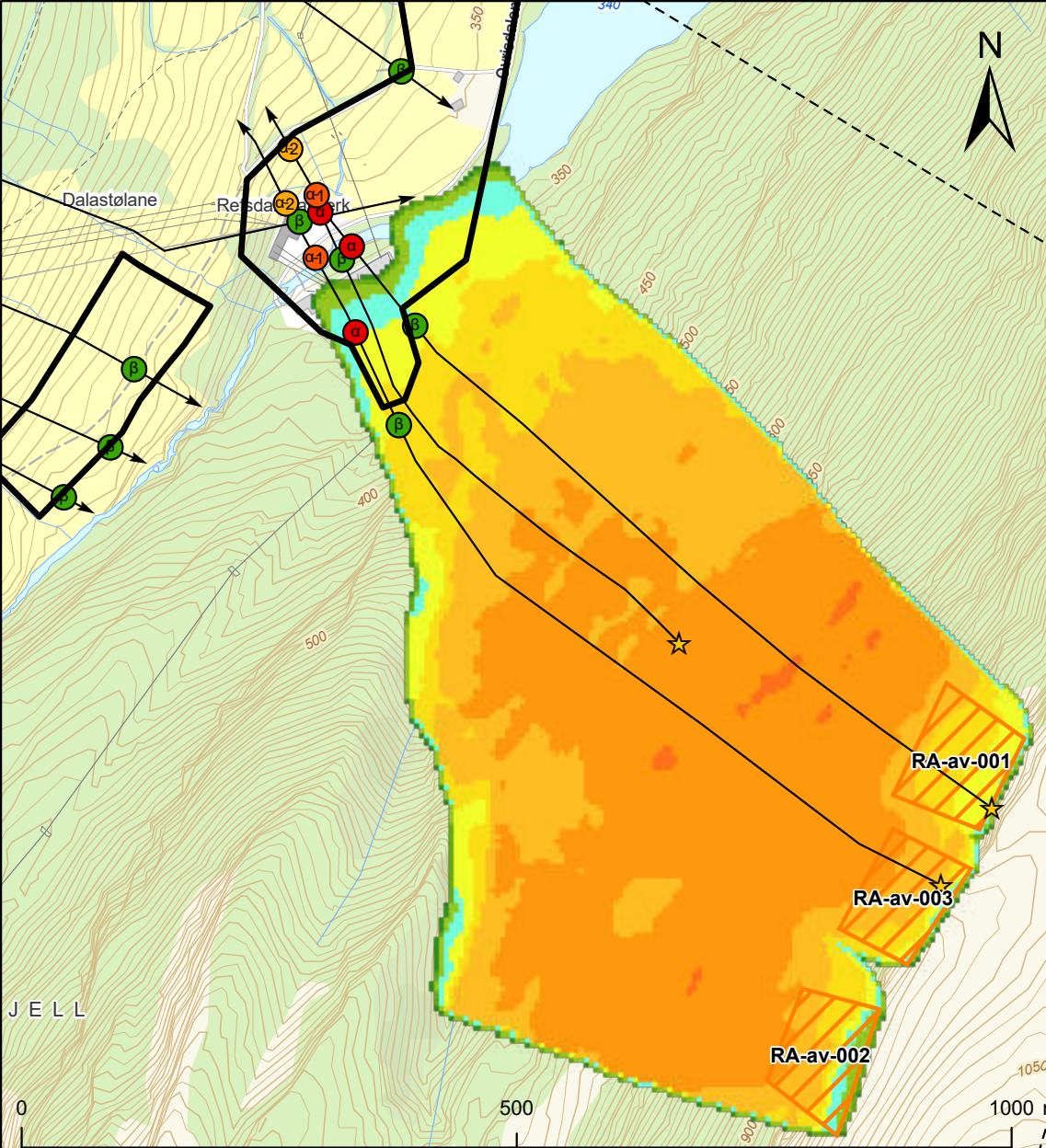
Størrelse: Large, Bruddhøyde: 2.5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprosjeksjon	
A3 1:12,050		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- ▨ Utløsningsområde snø
- Skredprofil

Alfa-Beta

- ★ Utløsningspunkt
- β Beta
- α Alfa
- α-1 Alfa -1
- α-2 Alfa -2

Maksimal Hastighet (m/s)

- ≤ 1
- 1 - 2.5
- 2.5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20
- 20 - 25
- 25 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- > 50

Alternativ Nord

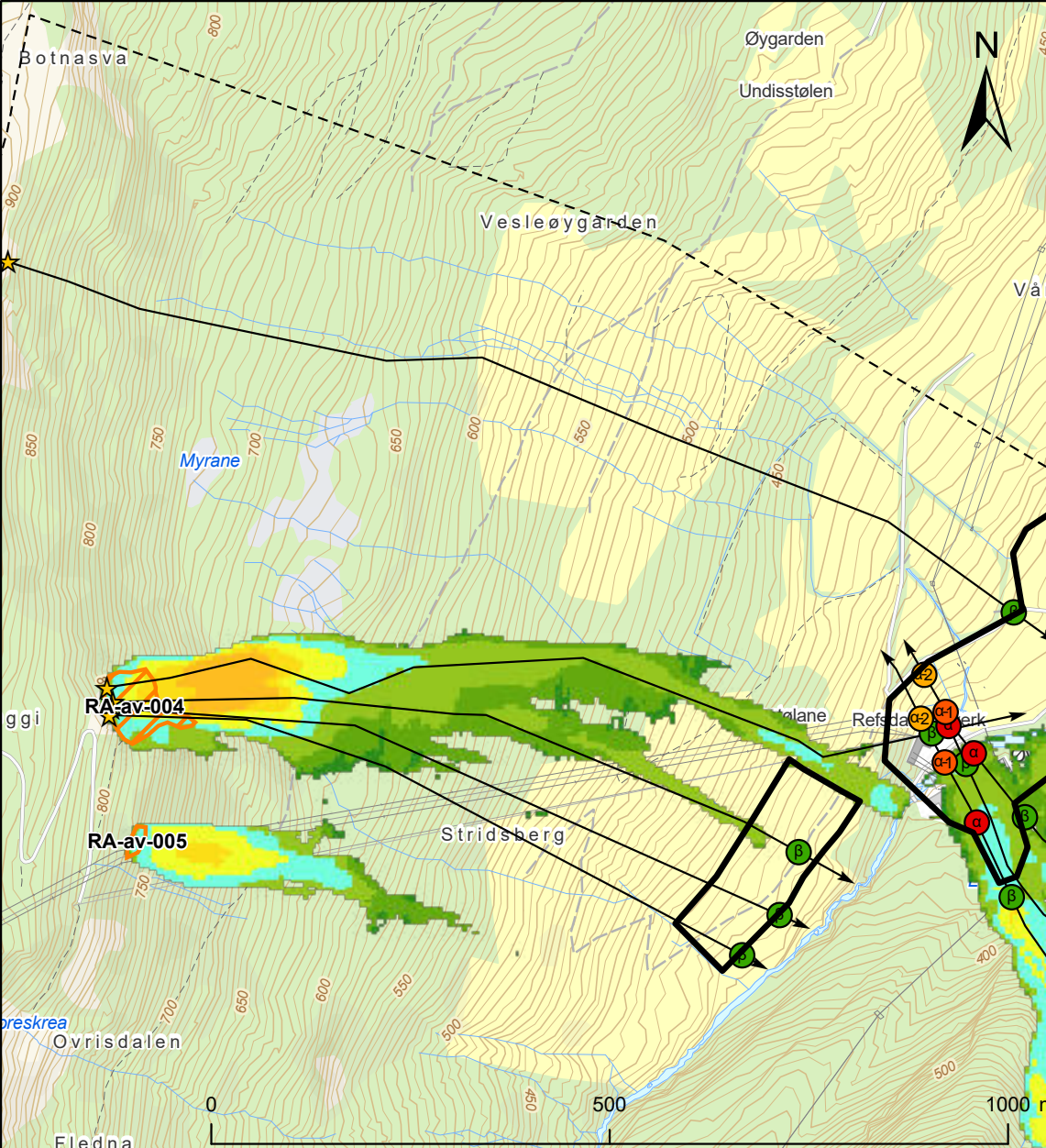
Modelleringsresultater snøskred
DEM: 5 m, Returperiode: 300 år,
Bruddhøyde: 1,5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprojeksjon	
A3 1:5,856		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Utløsningsområde snø
- Skredprofil

Alfa-Beta

- ★ Utløsningspunkt

β Beta

α Alfa

α-1 Alfa -1

α-2 Alfa -2

Maksimal Hastighet (RD:2m_L_300_Skog)
m/s

≤ 1

1 - 2.5

2.5 - 5

5 - 10

10 - 15

15 - 20

20 - 25

25 - 30

30 - 40

40 - 50

> 50

Alternativ Sør

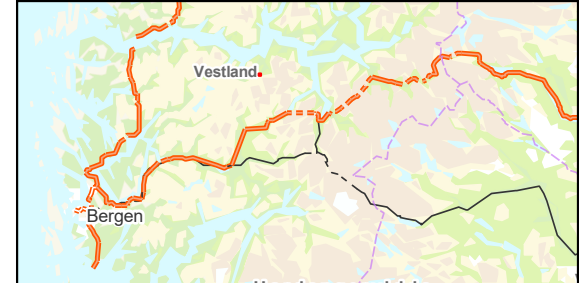
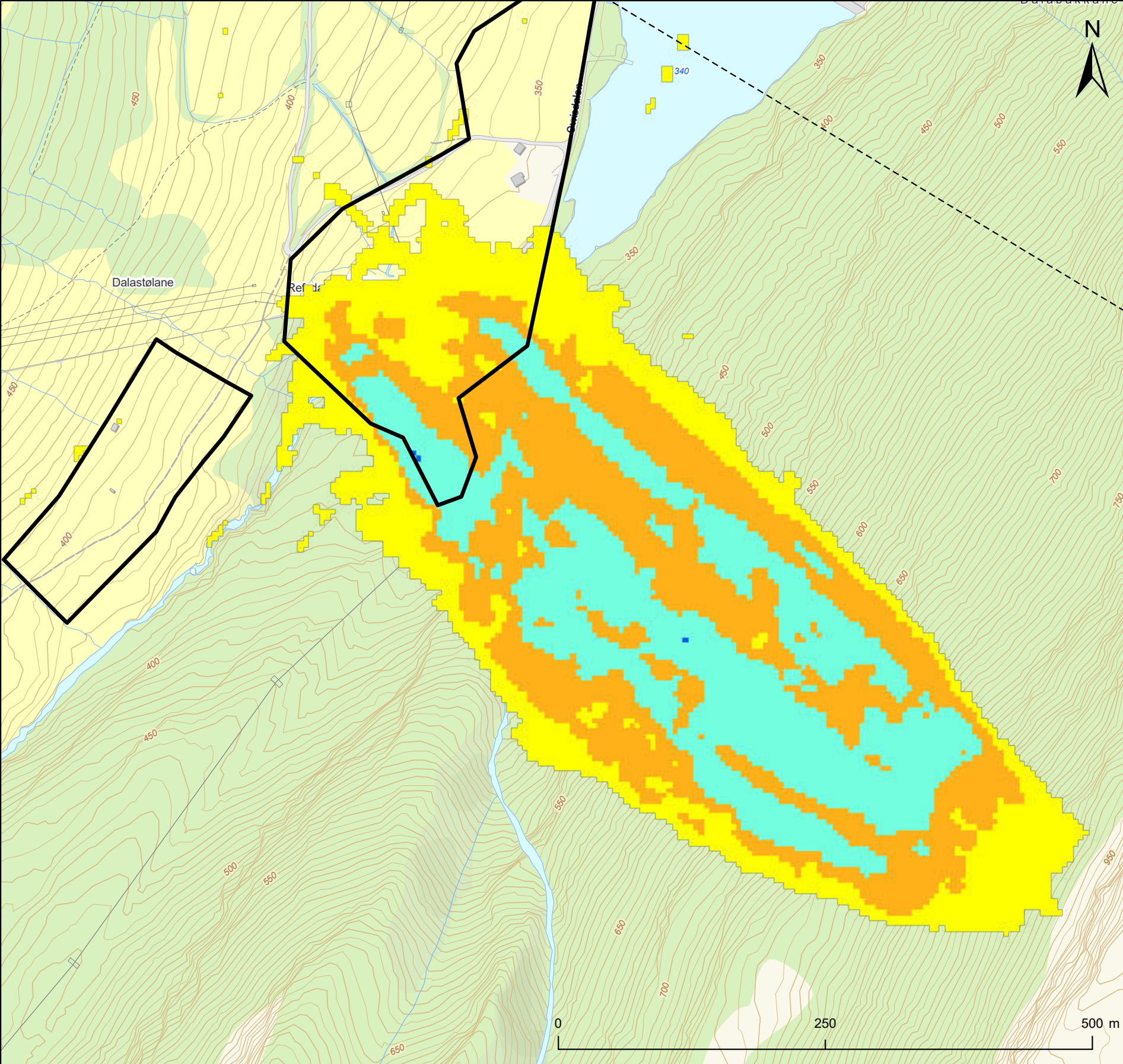
Modelleringsresultater snøskred

DEM: 5 m, Returperiode: 300 år,

Størrelse: Large, Bruddhøyde: 2 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprosjeksjon	
A3 1:7,250		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 · Faks: 22 23 04 48 www.ngi.no			





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område

Snøsky

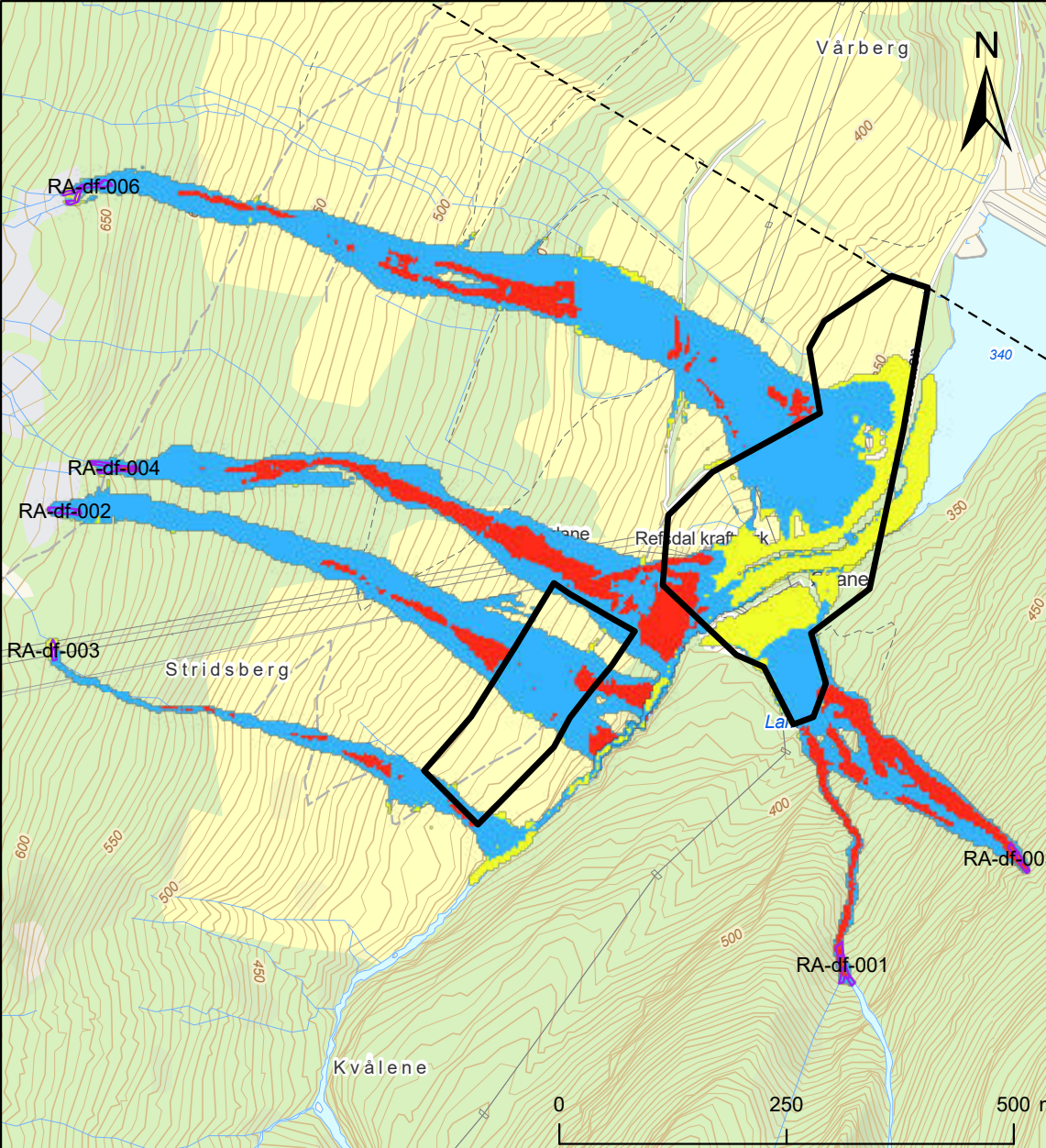
- kPa
- 1
 - 2 - 3
 - 4 - 5
 - 6 - 10
 - 11 - 30
 - 31 - 50

Alternativ Nord

Modelleringsresultater snøsky

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:3,500	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT			
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO			
Sognsveien 72			
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48			
www.ngi.no			





Tegnforklaring

 Påvirkningsområde

 Kartlagt område

 Løsneområde flomskred

Maksimal Hastighet

m/s

0.001 - 0.7

 0.702 - 1.701

 1.702 - 5.5

 5.501 - 16.53

Alternativ Nord og Sør

Modelleringsresultater flomskred

DEM: 2 m, Mu: 0.1, Xi: 200,

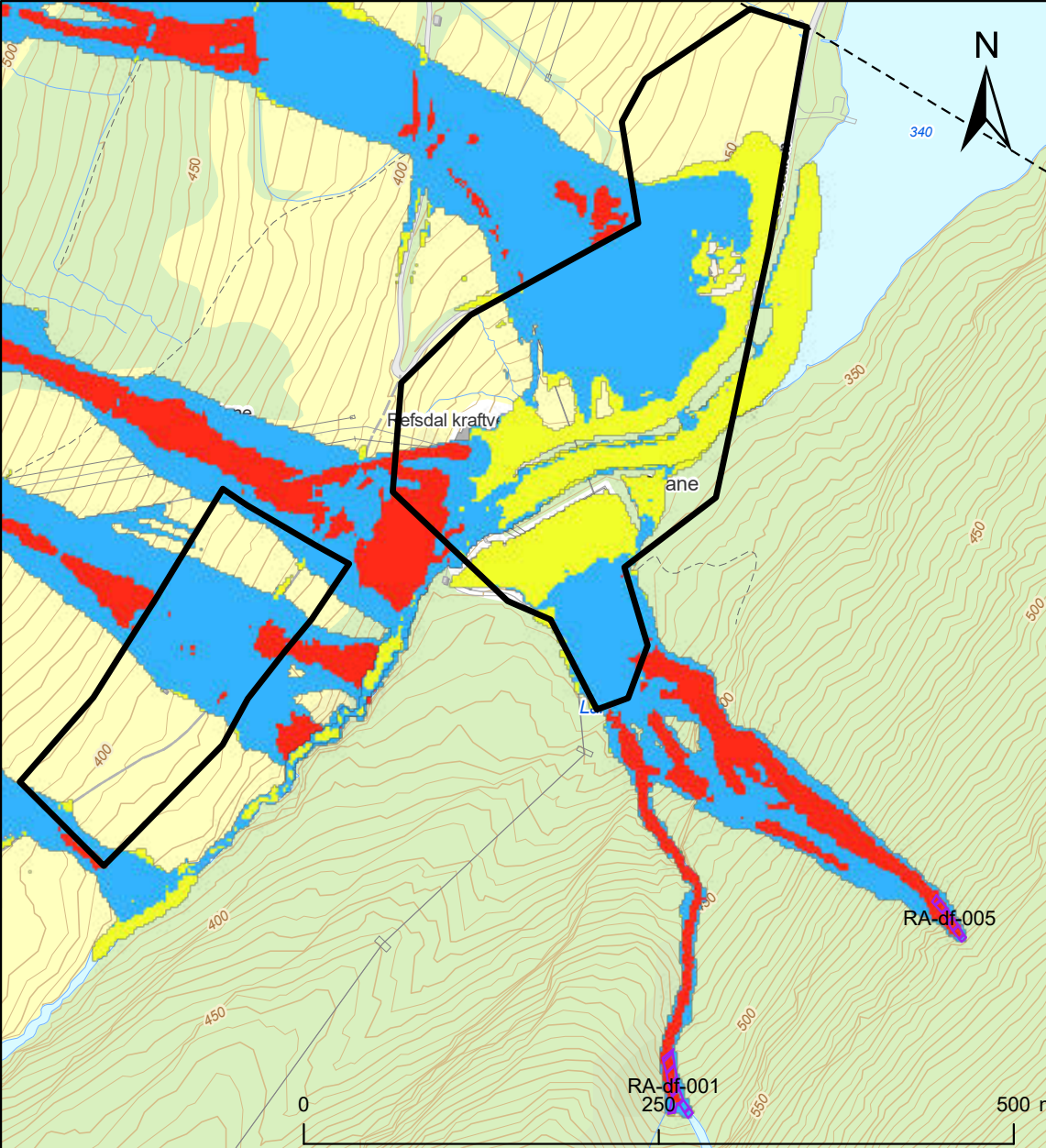
Bruddhøyde: 1 m, Erosjonshøyde: 0.5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprosjeksjon	
A3 1:6,356		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Løsneområde flomskred

Maksimal Hastighet

m/s

- 0.001 - 0.7
- 0.702 - 1.701
- 1.702 - 5.5
- 5.501 - 16.53

Alternativ Nord

Modelleringsresultater flomskred

DEM: 2 m, Mu: 0.1, Xi: 200,

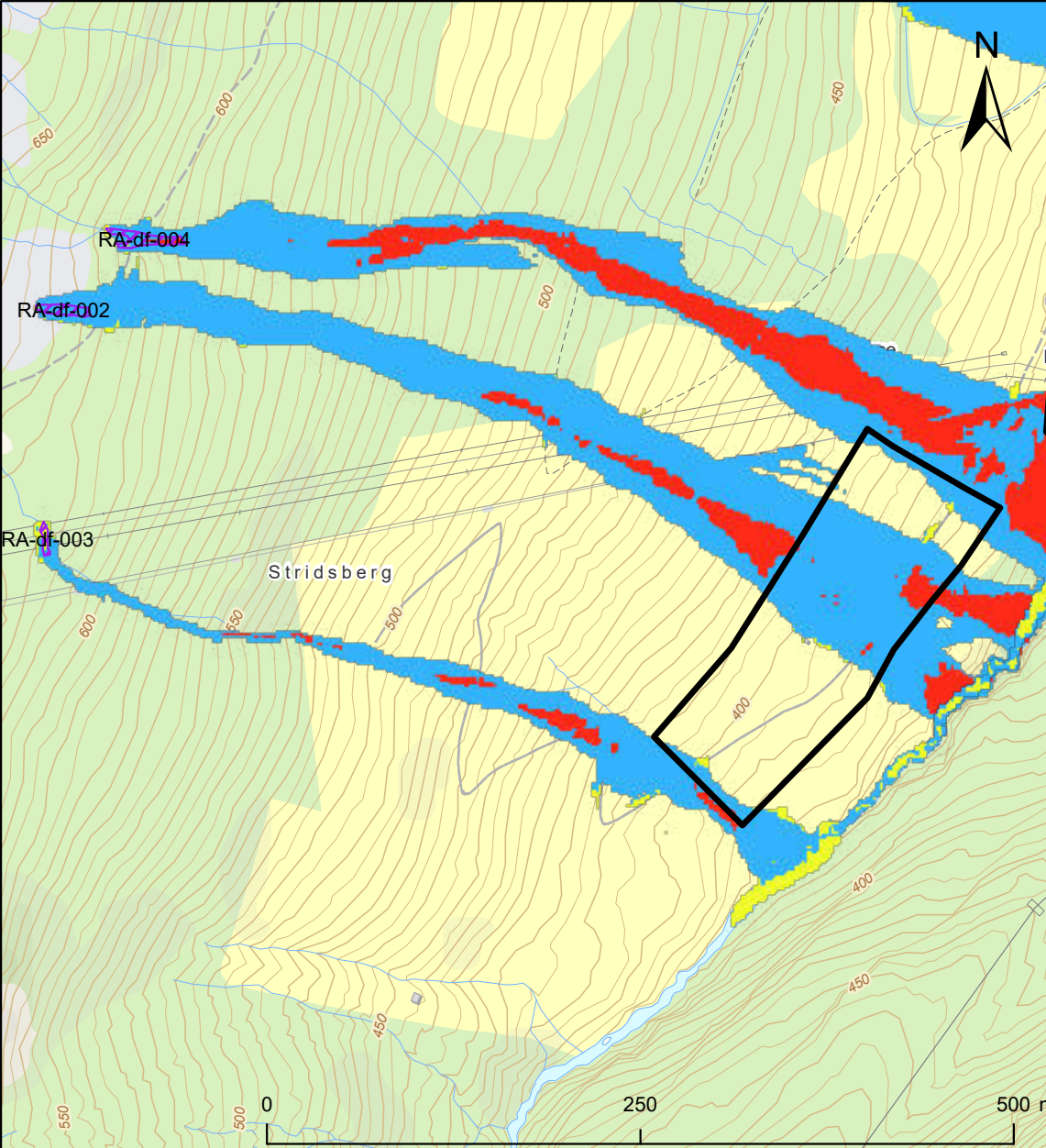
Bruddhøyde: 1 m, Erosjonshøyde: 0,5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprosjeksjon	
A3 1:4,068		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Løsneområde flomskred

Maksimal Hastighet

m/s

- 0.001 - 0.7
- 0.702 - 1.701
- 1.702 - 5.5
- 5.501 - 16.53

Alternativ Sør

Modelleringsresultater flomskred

DEM: 2 m, Mu: 0.1, Xi: 200,

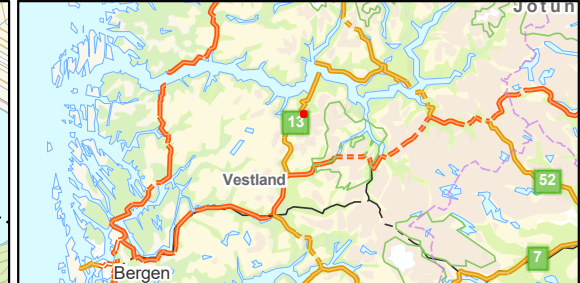
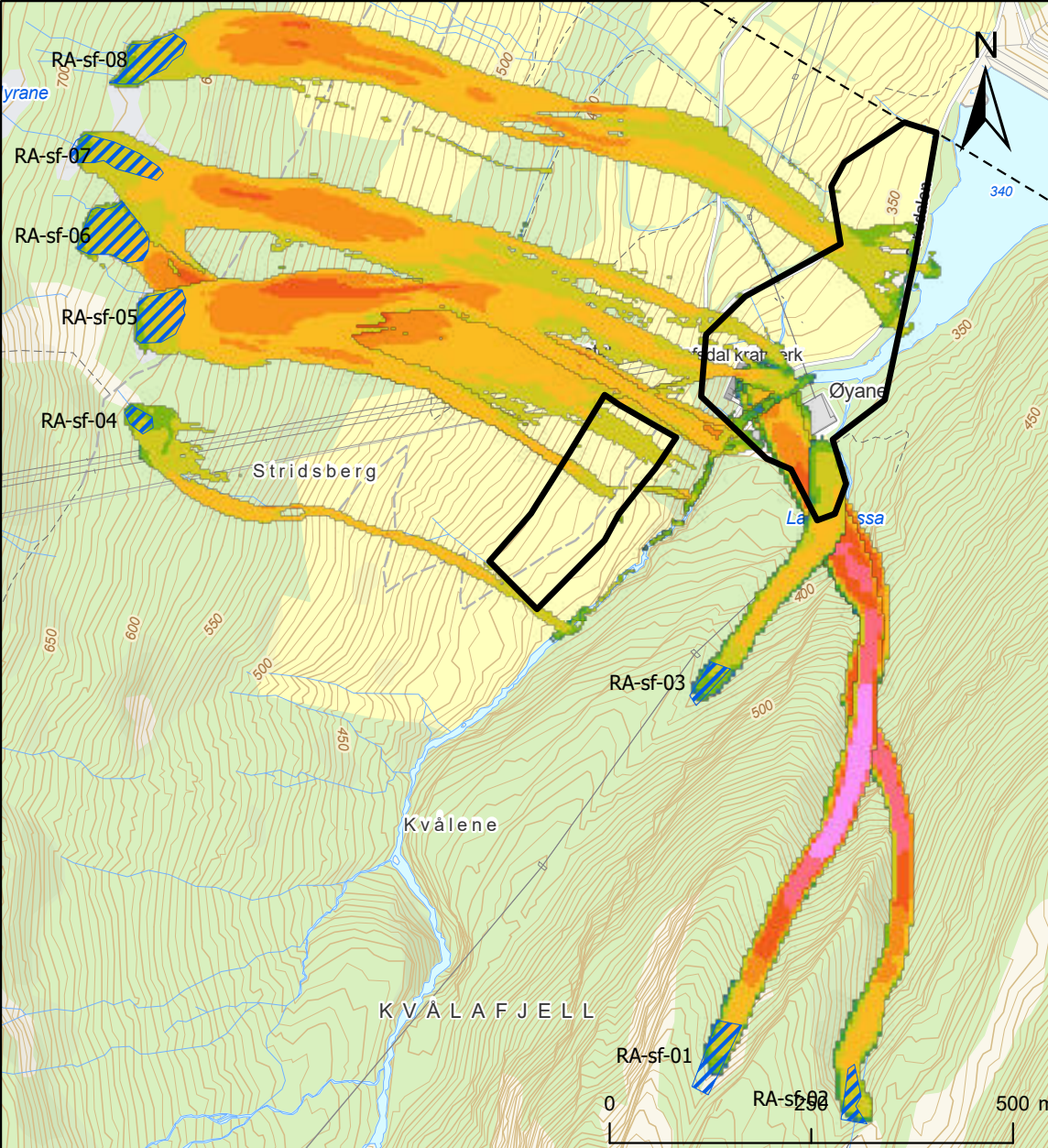
Bruddhøyde: 1 m, Erosjonshøyde: 0.5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprojeksjon	
A3 1:3,868		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Løseområde sørpeskred

Maksimal Hastighet (0.05_2000_BH:1m_medr)
m/s

- < 0.5 [m/s]
- 0.5 - 1 [m/s]
- 1 - 2.5 [m/s]
- 2.5 - 5 [m/s]
- 5 - 10 [m/s]
- 10 - 15 [m/s]
- 15 - 20 [m/s]
- 20 - 25 [m/s]
- 25 - 30 [m/s]
- > 30 [m/s]

Alternativ Nord og Sør

Modelleringsresultater sørpeskred

DEM: 2 m, Mu: 0.05, Xi: 2000,

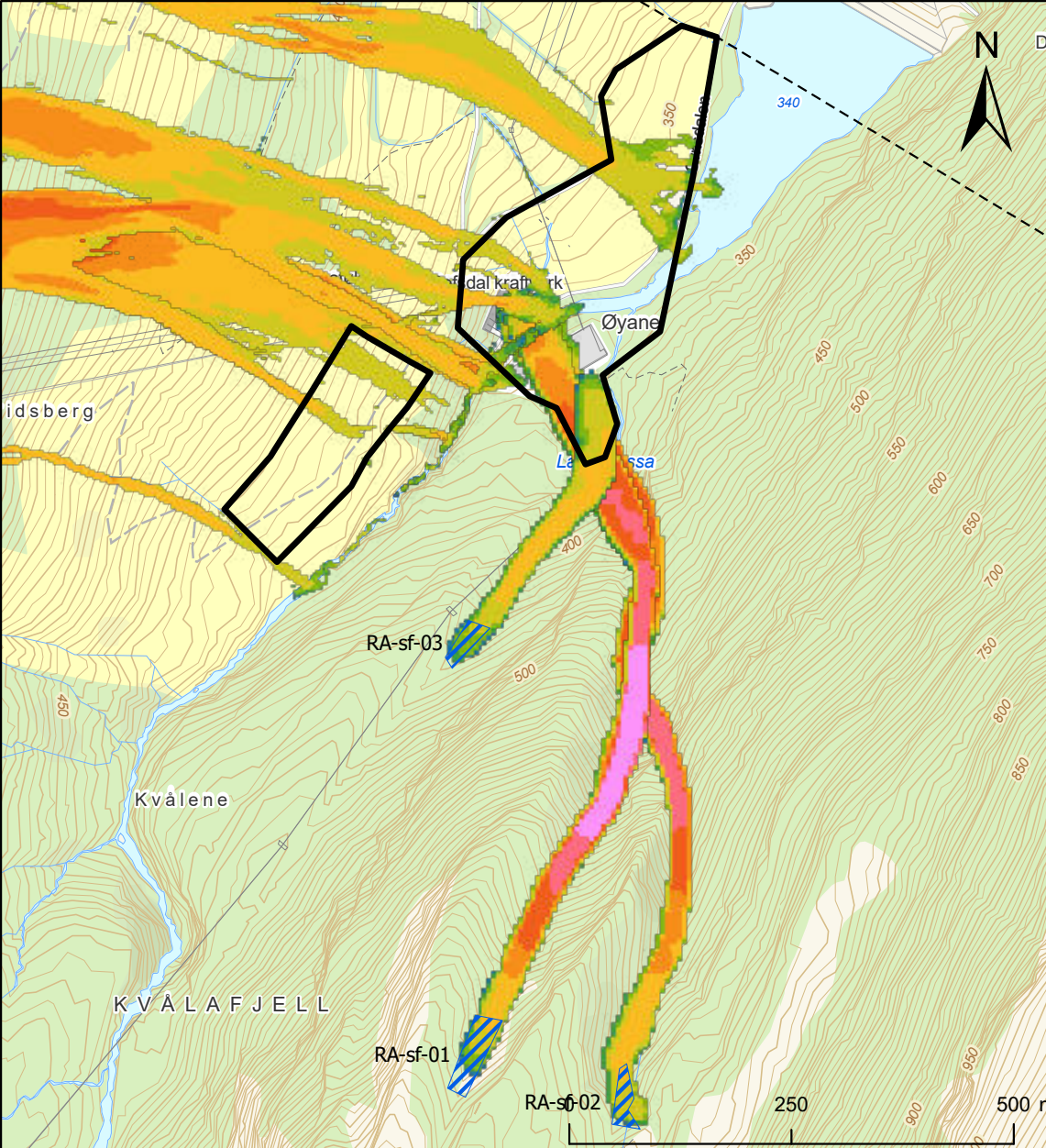
Bruddhøyde: 1 m, Erosjonshøyde: 0.5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprojeksjon	
A3 1:7,156		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Løseområde sørpeskred

Maksimal Hastighet (0.05_2000_BH:1m_medr)
m/s

- < 0.5 [m/s]
- 0.5 - 1 [m/s]
- 1 - 2.5 [m/s]
- 2.5 - 5 [m/s]
- 5 - 10 [m/s]
- 10 - 15 [m/s]
- 15 - 20 [m/s]
- 20 - 25 [m/s]
- 25 - 30 [m/s]
- > 30 [m/s]

Alternativ Nord

Modelleringsresultater sørpeskred

DEM: 2 m, Mu: 0.05, Xi: 2000,

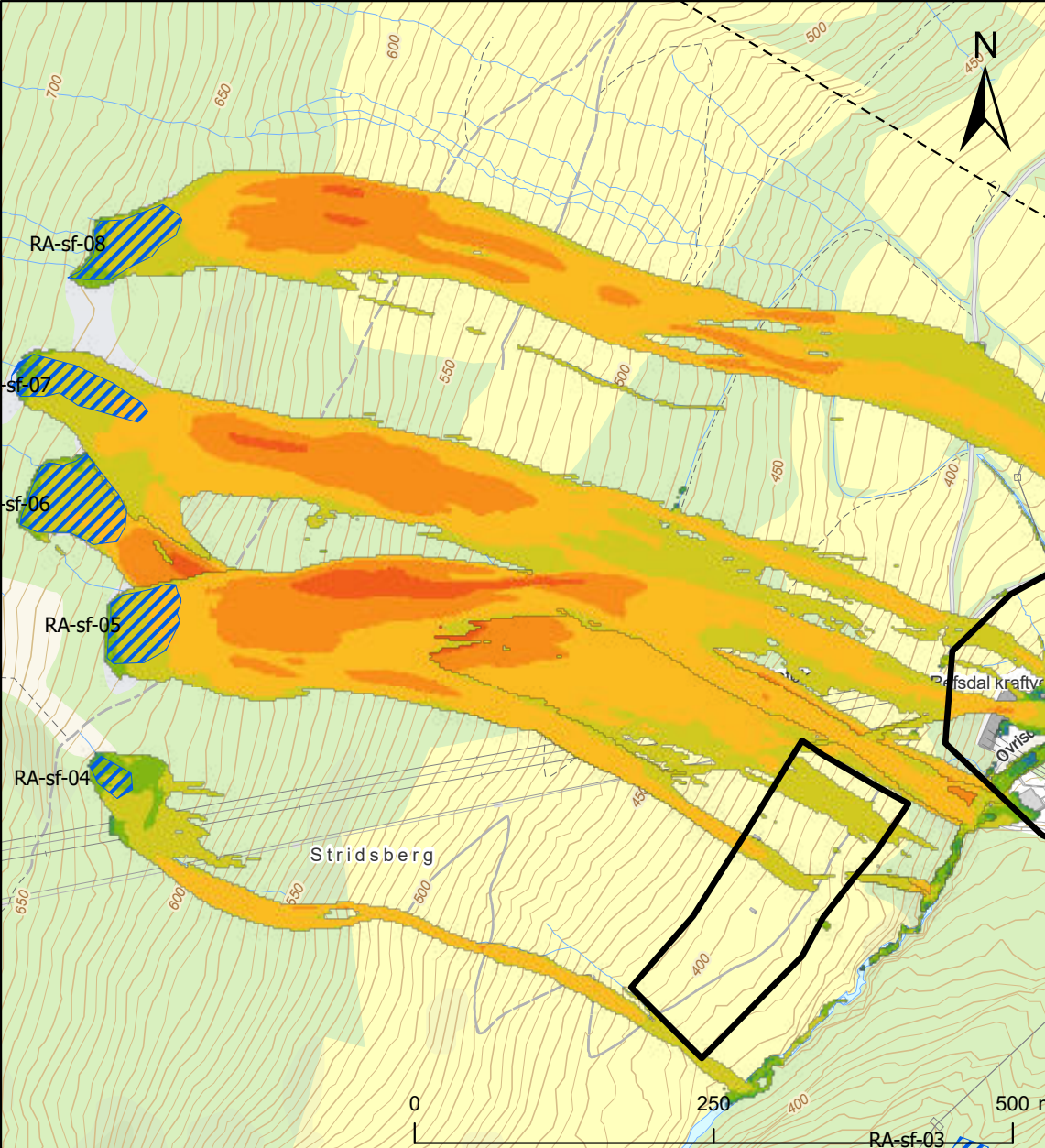
Bruddhøyde: 1 m, Erosjonshøyde: 0,5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprojeksjon	
A3 1:6,500		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Løsneområde sørpeskred

Maksimal Hastighet (0.05_2000_BH:1m_medr)
m/s

- < 0.5 [m/s]
- 0.5 - 1 [m/s]
- 1 - 2.5 [m/s]
- 2.5 - 5 [m/s]
- 5 - 10 [m/s]
- 10 - 15 [m/s]
- 15 - 20 [m/s]
- 20 - 25 [m/s]
- 25 - 30 [m/s]
- > 30 [m/s]

Alternativ Sør

Modelleringsresultater sørpeskred

DEM: 2 m, Mu: 0.05, Xi: 2000,

Bruddhøyde: 1 m, Erosjonshøyde: 0,5 m

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk		Kartprosjeksjon	
A3 1:4,825		ETRS 1989 UTM Zone 33N	
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Egenerklæringsskjema for kompetanse – iht. veileder *Sikkerhet mot skred i bratt terreng – Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak*

Firma:

Norges Geotekniske
Institutt

Org.nr

958254318MVA

(Søk i <https://brreg.no>)

Utførende foretak vil med utfylling av egenerklæringsskjema erklære seg skikket til å utføre utredning av skredfare i bratt terreng og at utførende fagpersoner innehar nødvendig kompetanse i henhold til veilederen. Hvert foretak involvert i oppdraget fyller ut eget skjema, også ev. underleverandører.

Egenerklæring om utførende foretaks kompetanse	JA	NEI	Kommentar
Ansvarlig for å utføre skredfaglige utredninger er godt kjent med gjeldende forskrifter ¹ , veiledere ² , retningslinjer ³ og fagnormer som gjelder for å utføre skredfareutredninger.	☒	☐	
Minst to kvalifiserte fagpersoner blir benyttet i oppdraget, en som utførende og en som sidemannskontrollør. <i>De to påkrevde fagpersonene må ha minst 5 og 3 års netto erfaring med tilsvarende oppdrag, samt relevant utdanning som definert i veilederen. Personell med mindre enn 3 års erfaring kan benyttes i oppdraget i tillegg til de to med påkrevd erfaring.</i> <i>Enkeltmannsforetak (ENK) kan oppfylle dette kravet ved å benytte et annet foretak, med nødvendig kompetanse, for sidemannskontroll. Hvert foretak må da fylle ut eget skjema.</i>	☒	☐	
Foretaket har kunnskap om og tilgang på dynamiske skredmodeller der slike er kommersielt tilgjengelig.	☒	☐	
Foretaket har ansvarsforsikring som minst tilsvarende krav i NS 8401/8402 (prosjekterings- og rådgivningsoppdrag).	☒	☐	

¹ Byggteknisk forskrift (TEK17) og Plan- og bygningsloven (pbl)

² NVE veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak

³ NVE retningslinjer Flaum- og skredfare i arealplanar – Revidert 22.mai 2014



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Signatur:

Heidi Hefre

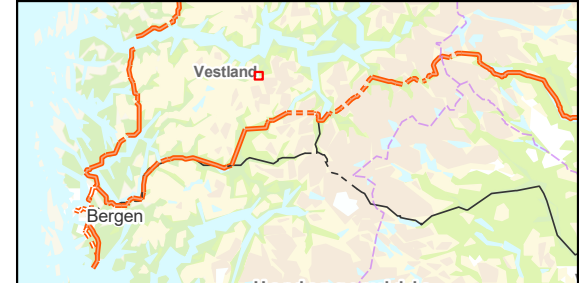
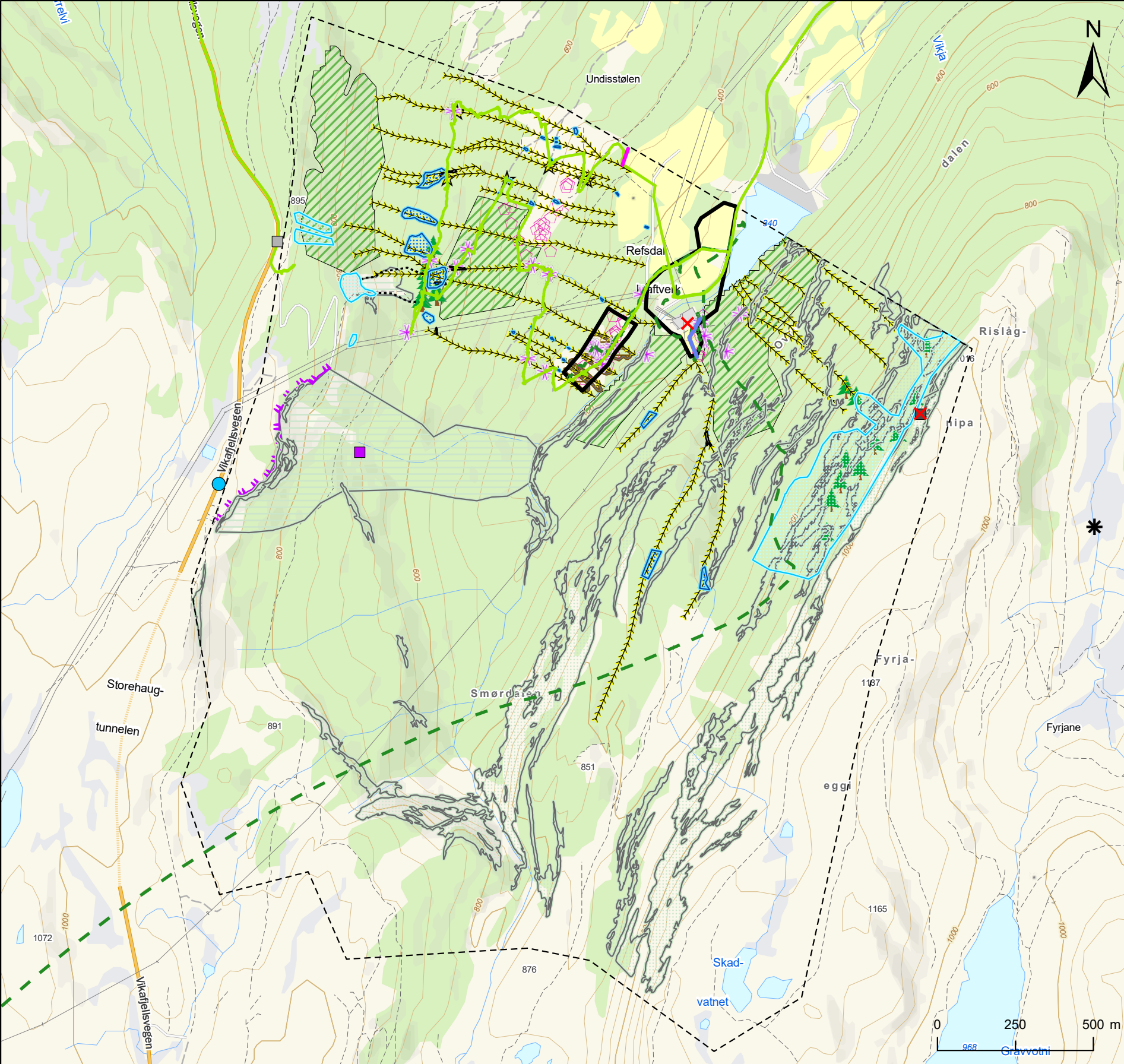
HEIDI HEFRE

Sted og dato:

Oslo, 2022-10-26

Vedlegg E

REGISTRERINGSKART



Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Sporlogg bakke
- Sporlogg helikopter

Potensielle løснеområder

- Løsneområder steinsprang/steinskred
- Løsneområder snøskred
- Løsneområder sørpeskred
- Løsneområder flomskred

Landformer med potensiell påvirkning på skredfaren

- Ravine/bekkenedskjæring
- Skredkant
- Ur

Skredavsetninger

- Jord- og flomskredavsetning
- Steinsprang/steinskredavsetning (ur)
- Steinsprang fra 1980-tallet
- Terrenggrøft/Voll
- Omlagt elveløp

- Berg i dagen

- Skredskader på skog

- Aktiv elveerosjon

- Antatt steinsprang/steinskredblokk

- Blokk med usikkert opphav

- Skog med betydning for skredfaren

Skredhendelser (ArcGIS tjeneste fra NVE)

Skredtype

- Steinsprang (< 100 m3)
- Lite fjellskred (100 - 10000 m3)
- Steinskred, uspesifisert
- Sørpeskred
- Snøskred, uspesifisert

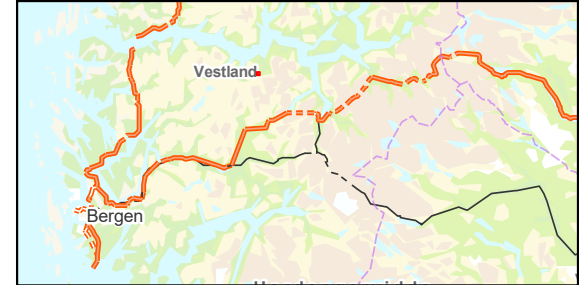
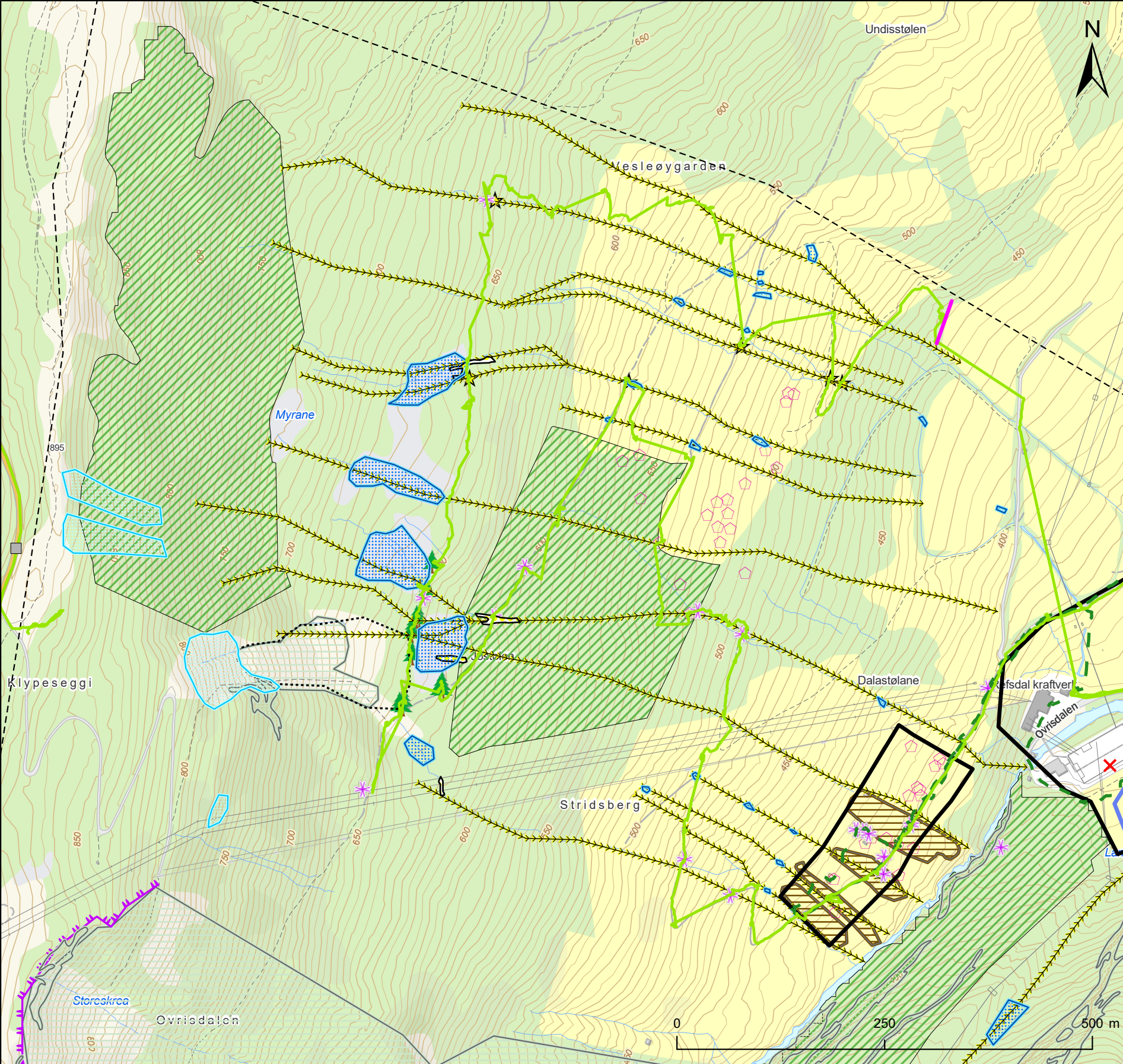
Registreringskart

Refsdal transformatorstasjon

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprosjeksjon		
A3 1:12,000	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Sporlogg bakke
- Sporlogg helikopter

Potensielle løснеområder

- Løснеområder steinsprang/steinskred
- Løснеområder snøskred
- Løснеområder sørpeskred
- Løснеområder flomskred

Landformer med potensiell påvirkning på skredfaren

- Ravine/bekkenedskjæring
- Skredkant
- Ur

Skredavsetninger

- Jord- og flomskredavsetning
- Steinsprang/steinskredavsetning (ur)
- Steinsprang fra 1980-tallet
- Terrenggrøft/Voll
- Omlagt elveløp

- Berg i dagen
- Skredskader på skog
- Aktiv elveerosjon
- Antatt steinsprang/steinskredblokk
- Blokk med usikkert opphav
- Skog med betydning for skredfaren

Skredhendelser (ArcGIS tjeneste fra NVE)

Skredtype

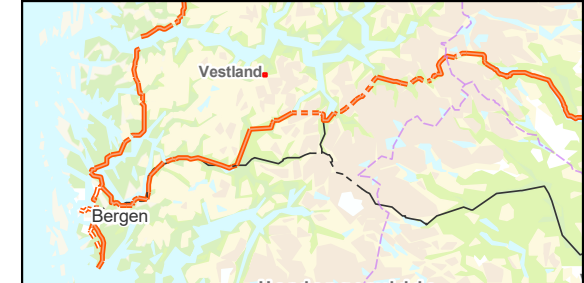
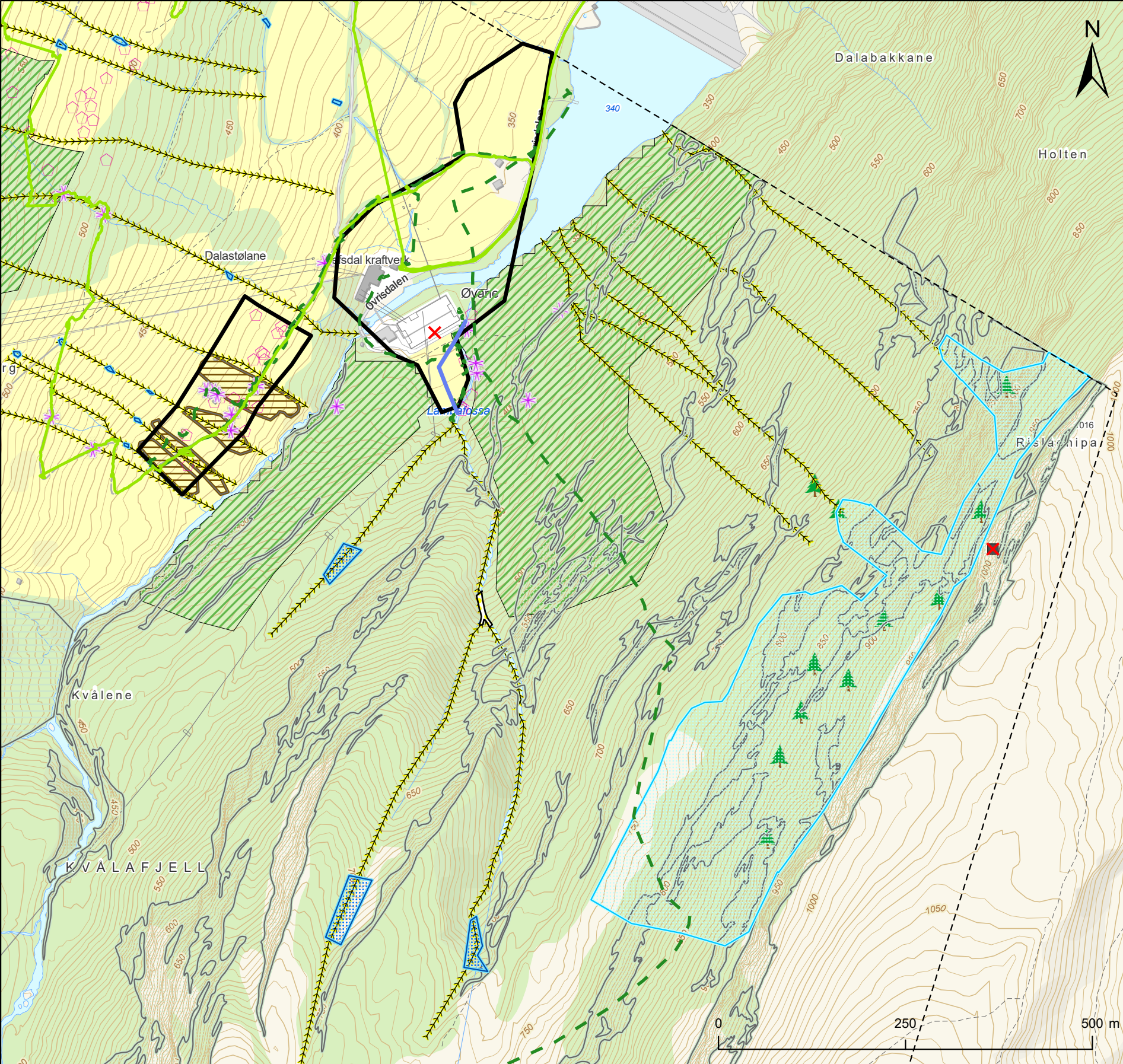
- Steinskred, uspesifisert

Registreringskart vest Refsdal transformatorstasjon

Dato	2023-03-01	Utført	EMo	Kontrollert	FS	Godkjent	VK
Original format og målestokk	A3 1:4,500	Kartprojeksjon	ETRS 1989 UTM Zone 33N				
Prosjektnr.	20210463	Dokumentnr.	07-R	Kartnr.	061S	Rev.	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Sporlogg bakke
- Sporlogg helikopter

Potensielle løснеområder

- Løснеområder steinsprang/steinskred
- Løснеområder snøskred
- Løснеområder sørpeskred
- Løснеområder flomskred

Landformer med potensiell påvirkning på skredfaren

- Ravine/bekkenedskjæring

Skredavsetninger

- Jord- og flomskredavsetning
- Steinsprang/steinskredavsetning (ur)
- Steinsprang fra 1980-tallet
- Terrenggrøft/Voll
- Omlagt elveløp

- Berg i dagen

- Skredskader på skog

- Aktiv elveerosjon

- Antatt steinsprang/steinskredblokk

- Blokk med usikkert opphav

- Skog med betydning for skredfaren

Skredhendelser (ArcGIS tjeneste fra NVE)

Skredtype

- Steinsprang (< 100 m3)

Registreringskart øst

Refsdal transformatorstasjon

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:5,000	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

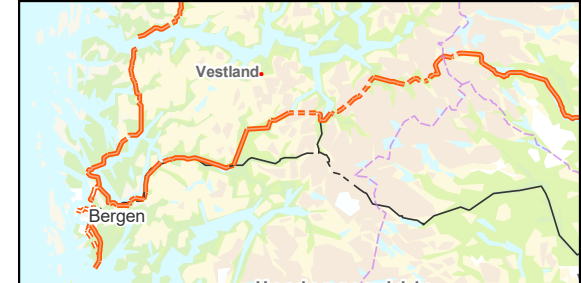
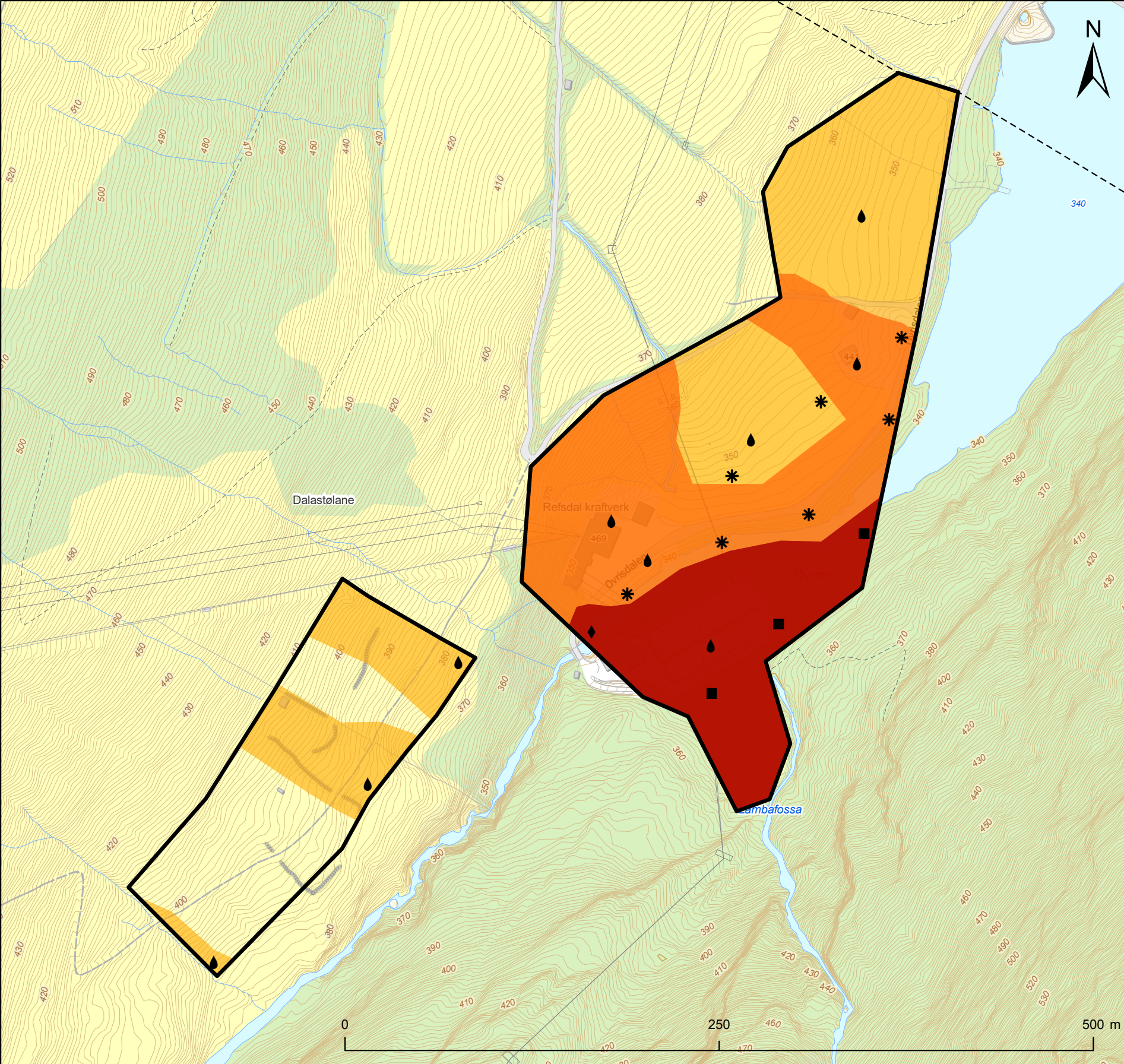
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no



Vedlegg F

FARESONEKART



Tegnforklaring

--- Påvirkningsområde

▭ Kartlagt område

Dimensjonerende faretype - dagens skogstatus

■ Steinsprang (< 100 m³)

* Snøskred

● Sørpeskred

◆ Flomskred

Faresone - 1/100

Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/100

Faresone - 1/1000

Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/1000

Faresone - 1/5000

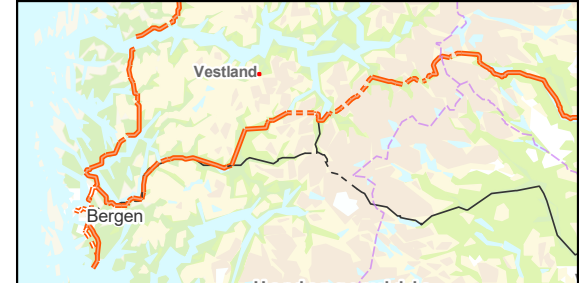
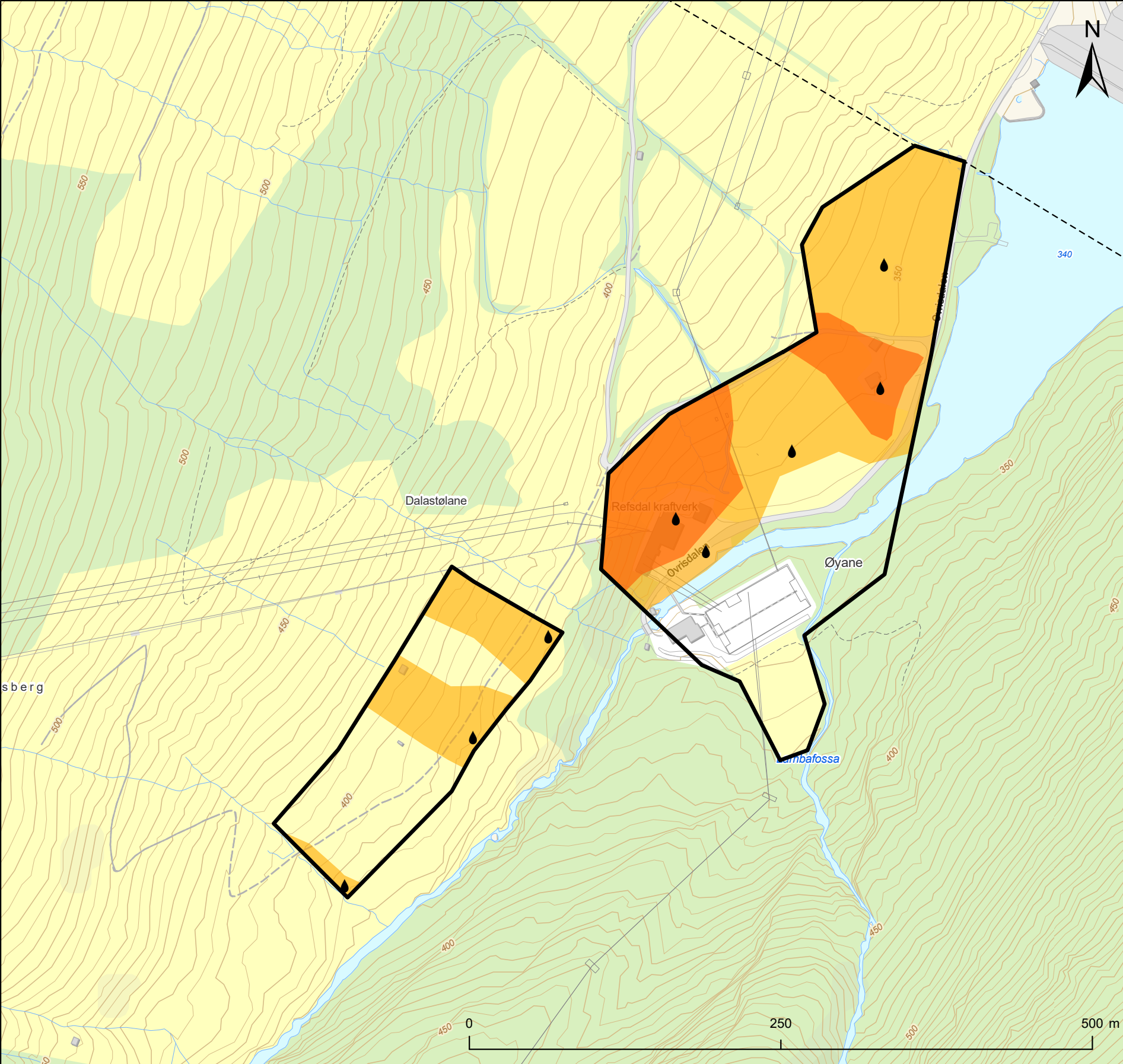
Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/5000

Faresonekart med skredfare fra vest Refsdal transformatorstasjon

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:2,500	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT			
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO			
Sognsveien 72			
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48			
www.ngi.no			





Tegnforklaring

--- Påvirkningsområde

▮ Kartlagt område

Dimensjonerende faretype - dagens skogstatus

● Sørpeskred

Faresone - 1/1000

Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/1000

Faresone - 1/5000

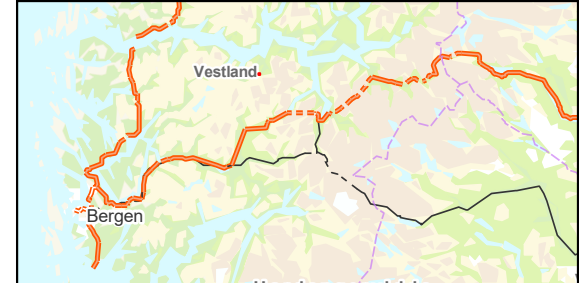
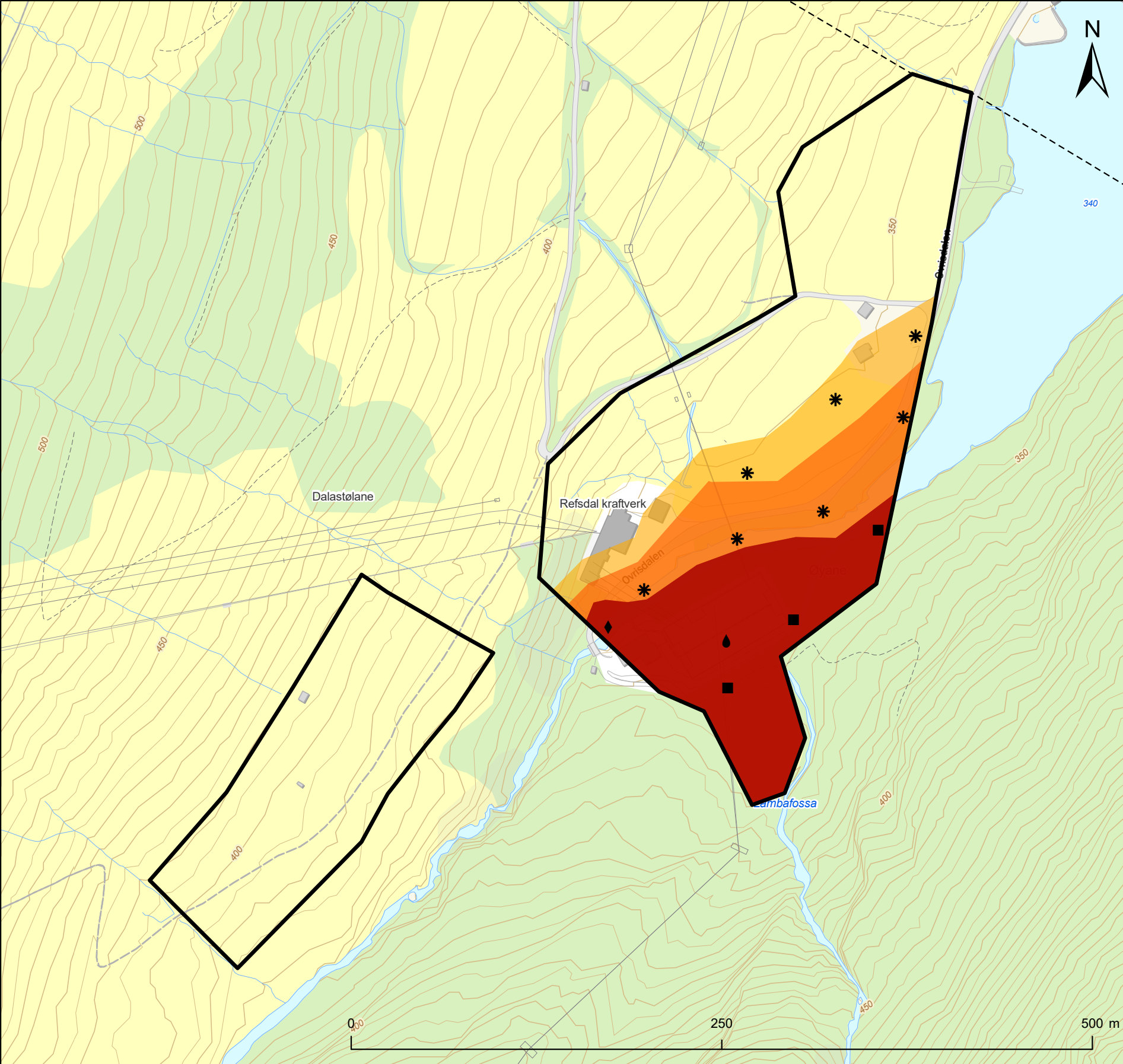
Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/5000

Faresonekart med skredfare fra vest Refsdal transformatorstasjon

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:3,000	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT			
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO			
Sognsveien 72			
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48			
www.ngi.no			





Tegnforklaring

--- Påvirkningsområde

▭ Kartlagt område

Dimensjonerende faretype - dagens skogstatus

■ Steinsprang (< 100 m³)

* Snøskred

● Sørpeskred

◆ Flomskred

Faresone - 1/100

Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/100

Faresone - 1/1000

Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/1000

Faresone - 1/5000

Nominell årlig sannsynlighet

■ >= 1/5000

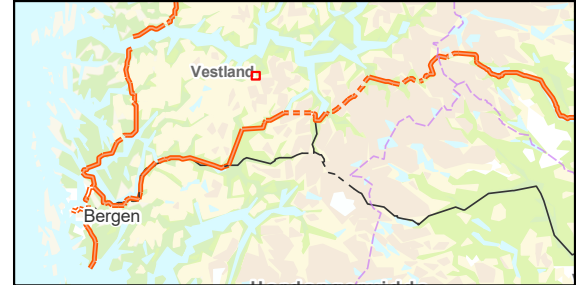
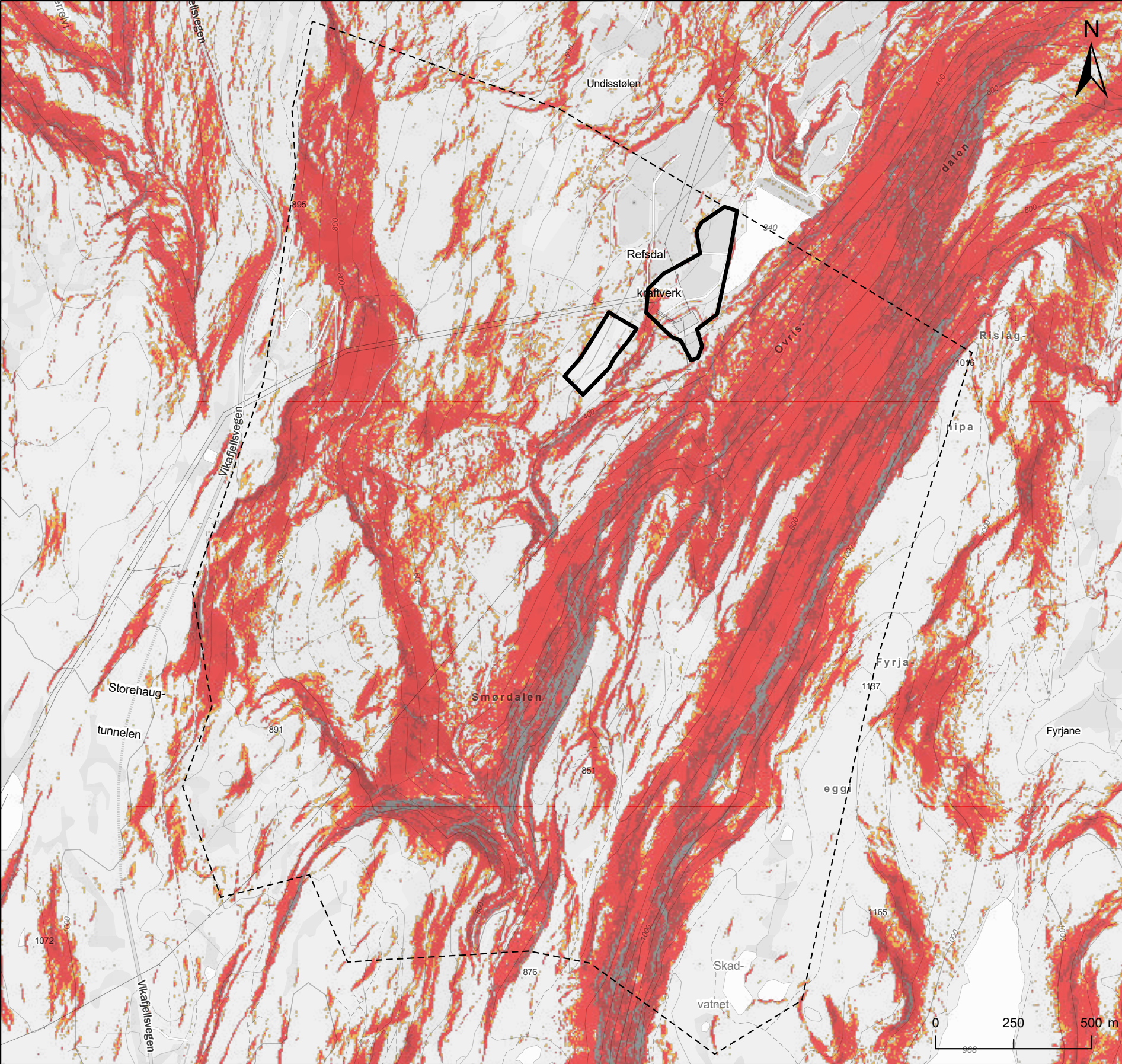
Faresonekart med skredfare fra øst Refsdal transformatorstasjon

Dato 2023-03-01	Utført EMo	Kontrollert FS	Godkjent VK
Original format og målestokk A3 1:2,522	Kartprojeksjon ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr. 20210463	Dokumentnr. 07-R	Kartnr. 061S	Rev. 1
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48 www.ngi.no			



Vedlegg G

HELNINGSKART, DRENERINGSKART



Tegnforklaring

Påvirkningsområde

Kartlagt område

Bratte områder

0° - 27°

27° - 30°

30° - 45°

45° - 60°

60° - 90°

Helning

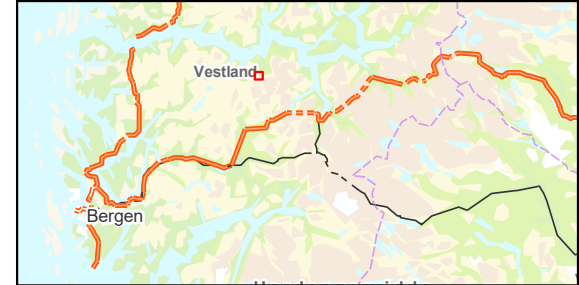
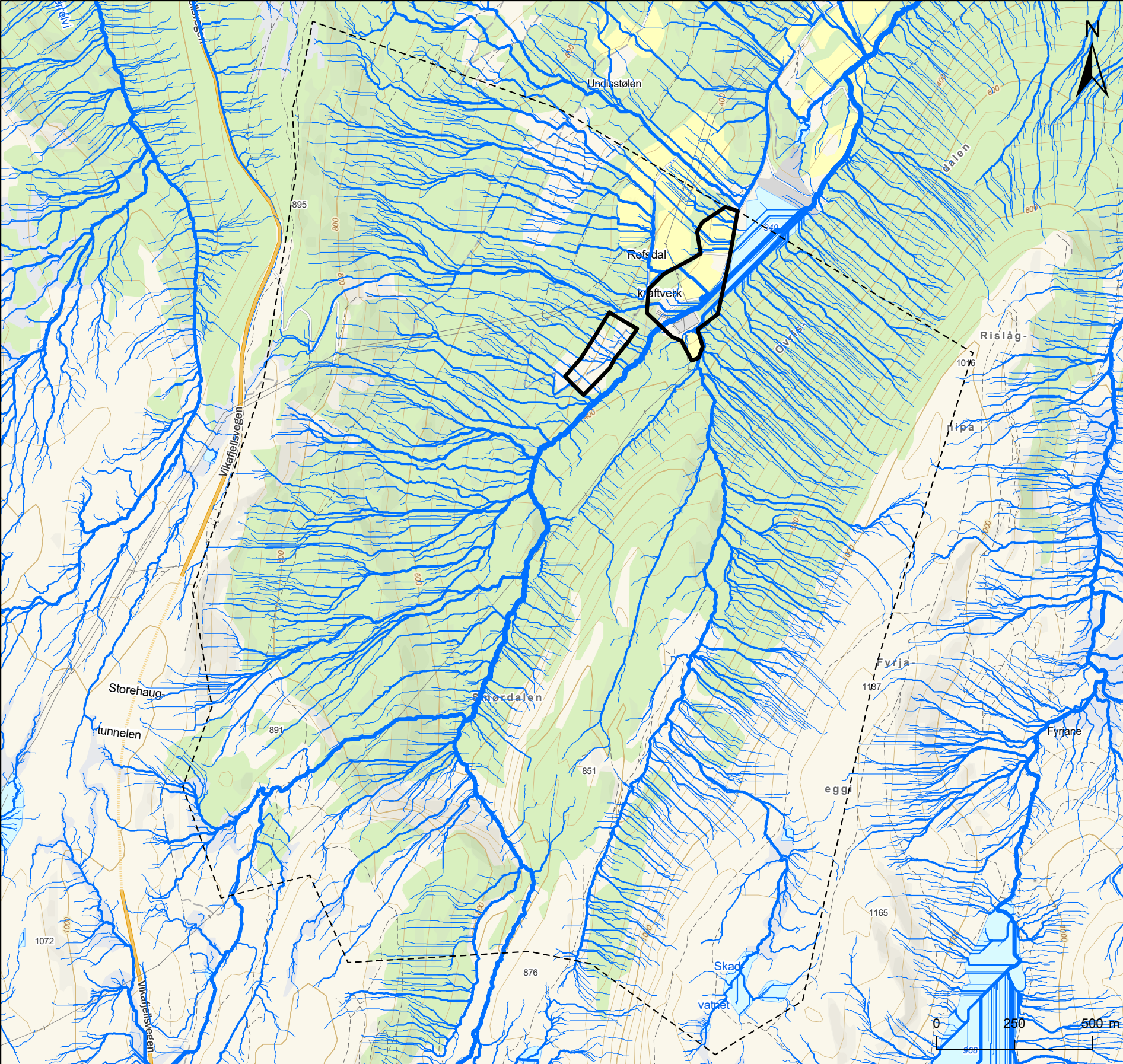
Refsdal transformatorstasjon

Vik kommune

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:12,000	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no





Tegnforklaring

Påvirkningsområde

Kartlagt område

Strahler order

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

Dreneringsløp

Refsdal transformatorstasjon

Vik kommune

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2023-03-01	EMo	FS	VK
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:12,000	ETRS 1989 UTM Zone 33N		
Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20210463	07-R	061S	1

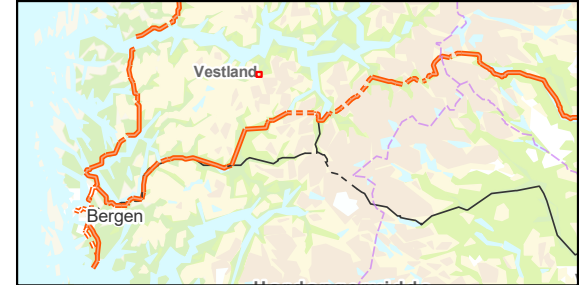
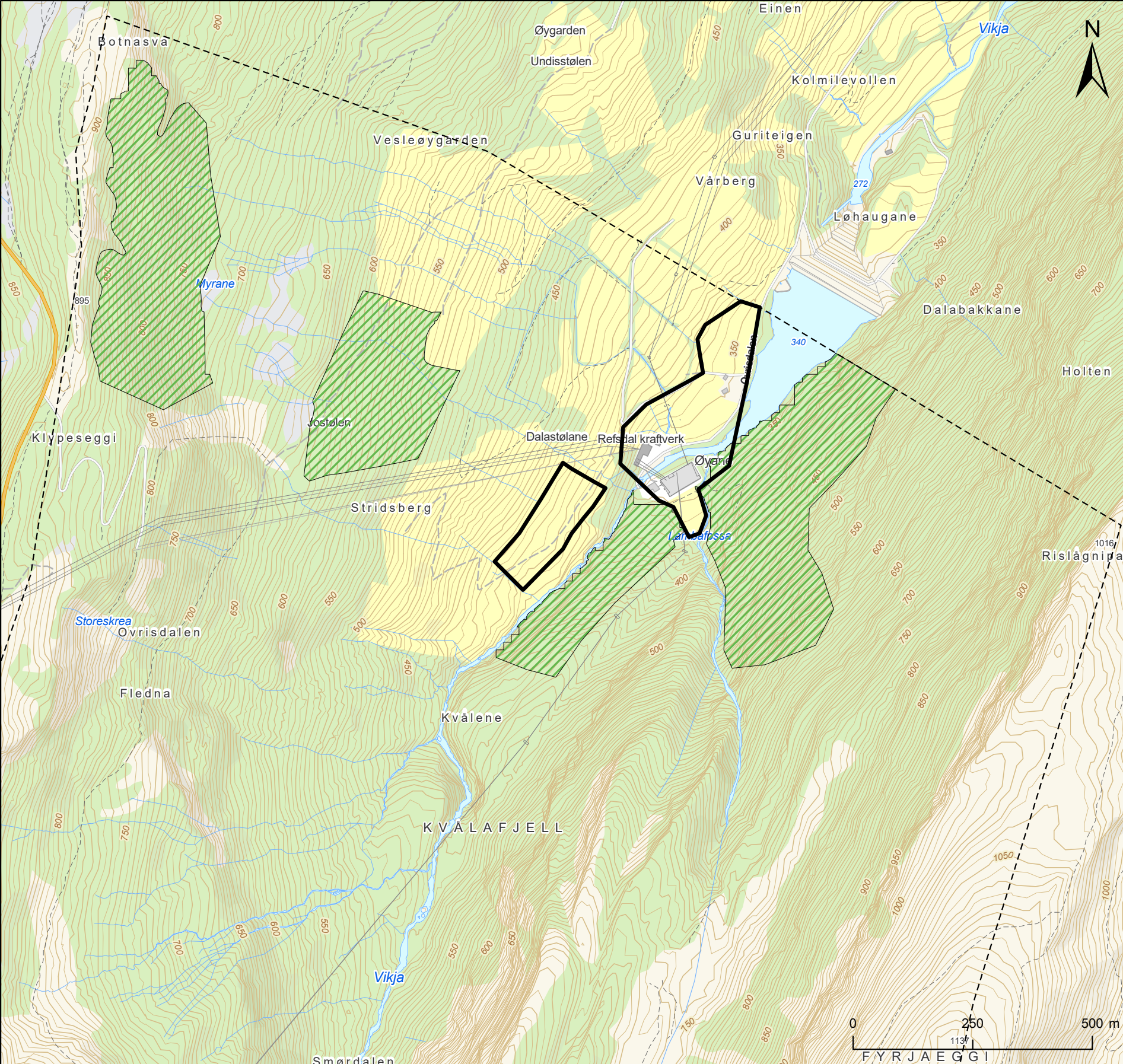
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO
Sognsveien 72
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48
www.ngi.no



Vedlegg H

SKOG MED BETYDNING FOR SKREDFAREN



Tegnforklaring

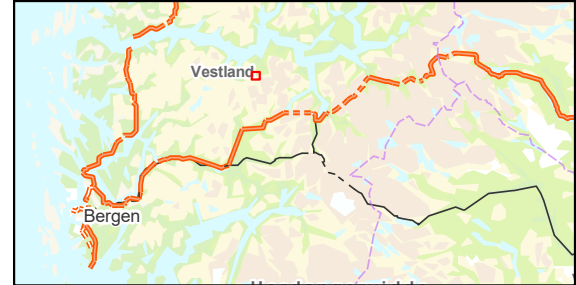
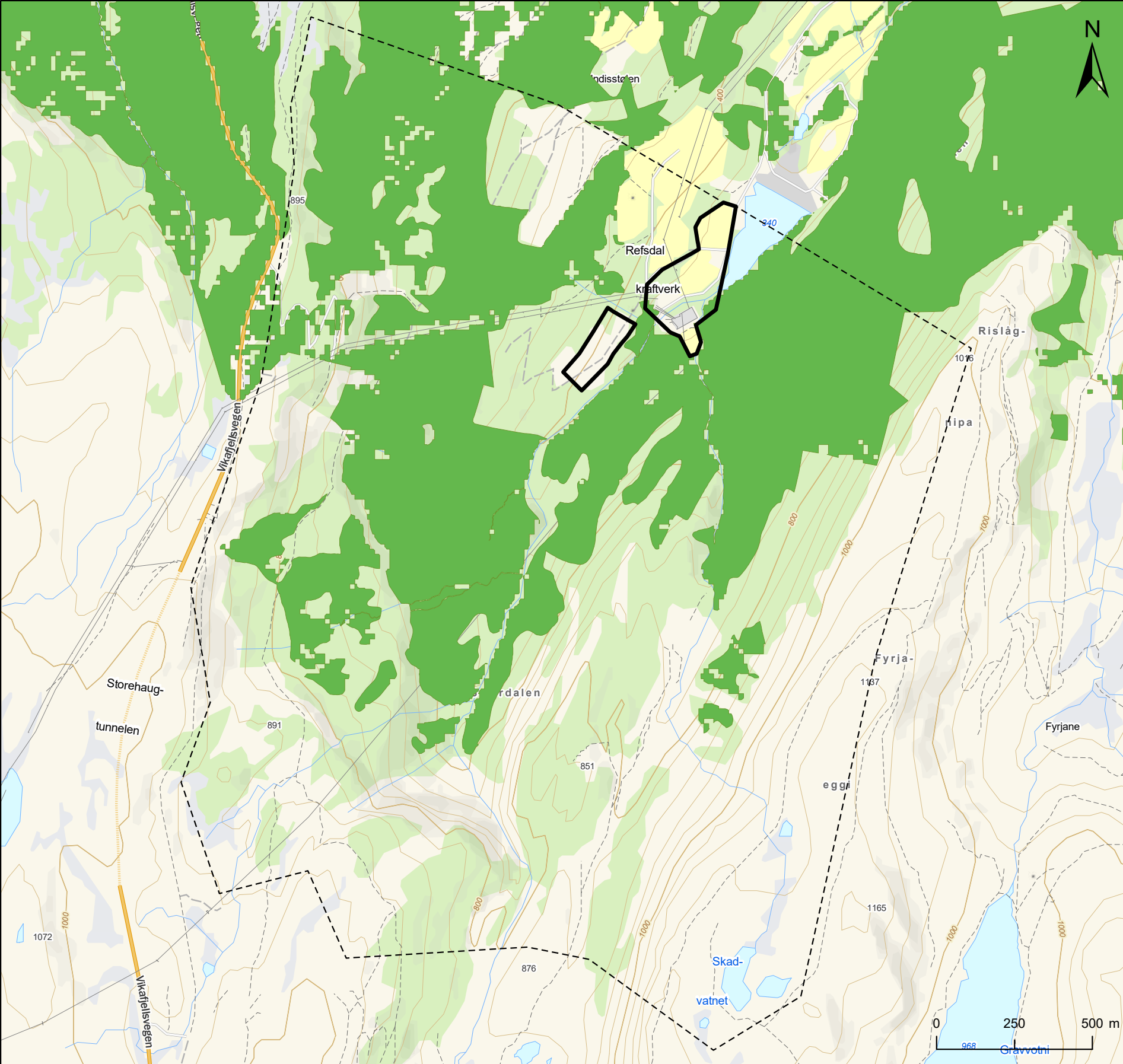
- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Skog med betydning for skredfaren

Skog med betydning for skredfaren

Refsdal transformatorstasjon

Dato	2023-03-01	Utført	EMo	Kontrollert	FS	Godkjent	VK
Original format og målestokk	A3 1:7,812	Kartprojeksjon	ETRS 1989 UTM Zone 33N				
Prosjektnr.	20210463	Dokumentnr.	07-R	Kartnr.	061S	Rev.	1
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT							
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO							
Sognsveien 72							
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48							
www.ngi.no							





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Vernskog

Vernskog

Refsdal transformatorstasjon

Dato	2023-03-01	Utført	EMo	Kontrollert	FS	Godkjent	VK
Original format og målestokk		Kartprojeksjon					
A3 1:12,000		ETRS 1989 UTM Zone 33N					
Prosjektnr.	20210463	Dokumentnr.	07-R	Kartnr.	061S	Rev.	1
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT							
Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO							
Sognsveien 72							
Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48							
www.ngi.no							

Refsdal-Vik

Uavhengig kvalitetssikring av rapport:
«20210463-07-R Stasjonene Kollsnes, Steinsland
Modalen og Refsdal -
Skredfarevurdering for transformatorstasjon Refsdal
frem til BP1»

Rapporteringsstatus:☒ Endelig☐ Oversendelse for kommentar☐ Utkast

Utarbeidet av: Maria Hannus	Sign.: Maria Hannus Digitally signed by Maria Hannus DN: cn=Maria Hannus, o=NO, ou=Sveco, email=maria.hannus@sveco.no Reason: I am the author of this document Date: 2023.01.26 12:30:15 +0100'
Kontrollert av: Kari Noer Lilli/ Øystein Lohne	Sign.: Kari Noer Lilli Digitally signed by Kari Noer Lilli DN: cn=Kari Noer Lilli, c=NO, o=Sveco Norge AS, email=Louise.Lilli@sveco.no Date: 2023.01.26 13:27:07 +0100' Digitally signed by Øystein S. Lohne DN: cn=Øystein S. Lohne, c=NO, ou=Sveco Norge AS, email=Oystein.Lohne@sveco.no Date: 2023.01.26 12:49:28 +0100'
Prosjektleder: Ingvill Storøy	Prosjekteier:

Revisjonshistorikk:

00	26.01.23	Originalt dokument	NOHMAA	NOKALR/NOLOHN
Rev.	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av

Sammendrag

Sweco Norge AS har utført uavhengig kvalitetssikring av skredfarevurdering som er utført av NGI Norges geotekniske institutt, og vist i rapport «20210463-07-R rev.nr 0/2022-12-09; Stasjonen Kollsnes, Steinsland, Modalen og Refsdal - Skredfarevurdering for transformatorstasjon Refsdal frem til BP1».

Det planlegges oppgradering av transformatorstasjon i området Refsdal-Vik i Vik kommune i Vestland fylke.

Den uavhengige kvalitetssikringen er utført iht. NVEs veileder «Sikkerhet mot skred i bratt terreng». Iht. veilederen er det krav om uavhengig kvalitetssikring for alle utredninger som er utført for bygg/tiltak i sikkerhetsklasse S3 og over.

Området vurderes godt nok befart, det er bratt og tett med vegetasjon i området og meget ulendt i den østlige skråningen, så det setter naturlige begrensninger på befaringen.

Klimaanalyser og beregningsverktøy anses brukt og analysert godt.

Rapporten inkludert vedlegg følger NVEs veileder. Det er noen mindre uklarheter i rapporten, disse er bemerket og klassifisert med hensyn til alvorlighetsgrad.

Oppsummert vurderes det at skredfarevurderingen utført av NGI omhandler de viktigste elementene i en slik rapport og utledete faresoner synes å være plausible.

Det er en noen uklarheter og små feil i rapporten, i tabell 2 og 3, summeres avvik og kommentarer til rapporten. Avvik som er merket IG, betyr ikke godkjent og disse må svares ut/ rettes opp før vi ser at rapporten er iht. NVEs veileder.

Sweco Norge AS
Prosjekt

Prosjektnummer
Kunde
Rev
Dato

Organisasjonsnr. 967032271
Vik transformatorstasjon –
Uavhengig kvalitetssikring_Skred
10228861-007
Statnett SF
00
26.01.2023

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	6
1.1	Betegnelser ved kontrollen	6
1.2	Oppbygging av utførelse av kontrollen	7
2	Kommentarer/avvik	8

1 Innledning

Sweco Norge AS er engasjert av Statnett for å utføre en uavhengig kvalitetssikring iht. NVEs skredfareveileder for sikkerhetsklasse S3. Skredfarevurderingen som kvalitetssikres er utført av Norges Geotekniske institutt (NGI). Se tabell 1.

Tabell 1. Kontrollert dokument

Kontrollert dokument nr./dato:	Tittel:	Utarbeidet av:
20210463-07-R Rev.nr: 0/2022-12-09 Inkl. vedlegg	Skredfarevurdering for transformatorstasjon Refsdal frem til BP1	NGI v/ Vidar Kveldsvik, Peter Gauer, Håkon Heyerdahl, Øyvind A Høydal, Heidi Hefre, Elise Morken, Ulrik Domaas

Hensikten med kvalitetssikringen er å påse at skredfarevurderingen har tilstrekkelig kvalitet og at den er utført i samsvar med NVEs veileder «Sikkerhet mot skred i bratt terreng» (heretter kalt veileder(en)). Iht. denne er det krav om uavhengig kvalitetssikring for alle utredninger som er utført for bygg/tiltak i sikkerhetsklasse S3 og over.

Innholdet av kvalitetssikringen skal iht. veilederen omfatte følgende:

- Om det er benyttet relevant og dekkende grunnlagsdata, inkludert eventuelle tidligere utførte skredfareutredninger for samme område
- Om feltarbeid/befaringer kan ansees som dekkende og tilstrekkelig
- Om klimadata er brukt der det er relevant
- Om beregningsverktøy er brukt fornuftig, og resultater av modelleringen er diskutert
- Om det er sammenheng mellom registreringskart, eventuelle modellresultater og skredfareutredninger/faresoner

Det skal også gjøres en samlet vurdering av konklusjoner og begrunnelser ut fra tilgjengelig grunnlagsdata og beregningsresultater. Gjennomført kvalitetssikring skal alltid beskrives og dokumenteres.

1.1 Betegnelser ved kontrollen

Tabell 2 og 3 viser kontrollstatus av utført kvalitetssikring av notat. Sweco har brukt følgende betegnelse for registrerte avvik og kommentarer ved kontroll av skredfarevurderingen.

Kontroll og avvik er gradert med betegnelse, som vist under;

- **(IG)**: Ikke godkjent. Må utbedres - anses som mangelfullt, må rettes opp/utdypes før endelig rapport kan anses samsvare med NVEs veilederes krav.
- **(ANM)**: Anmerkning. Kan/bør forbedres, omskrives og utdypes.
- **(OK)**: Ok. Eventuelle råd/forslag til forbedring.

1.2 Oppbygging av utførelse av kontrollen

For utførelse av den uavhengige kvalitetssikringen følger Sweco NVEs veileder og anbefalt oppsett for uavhengig kvalitetssikring ref.: NVE. 2020. Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. [09.09.2022]. <https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng>. Lokalisert på Internett 26.01.2023

Sweco har interne sjekklister som er utarbeidet etter NVEs veileder for utførelse av skredfarekartlegging, disse er aktivt brukt i kontrollen. Avvik og kommentarer er sammenstilt i tabell 2 og 3.

2 Kommentarer/avvik

Kommentarer og avvik er sammenstill i tabell 2 og tabell 3. Rapporten vurderes som ikke godkjent, da det er noen avvik som må rettes opp.

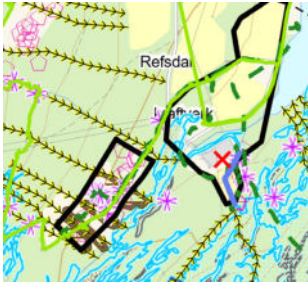
Tabell 2, omhandler generelle spørsmål/avvik og kommentarer til rapporten. Tabell 3 følger oppsettet i den kontrollerte rapporten.

Oppsummert vurderes det at skredfarevurderingen utført av NGI omhandler de viktigste elementene i en slik rapport og utledede faresoner synes å være plausible. Kontrollen avdekker en del uklarheter og noen mindre feil, avvik og anbefalte kompletteringer. Rapporten har med de relevante forhold og kapitler som er beskrevet i NVEs veileder. Det er benyttet relevante og dekkende grunnlagsdata. Det anses å være utført tilstrekkelig feltarbeid (området er tett begrodd og ulendt) og det er medtatt relevant klimadata. Videre har den med grundige vedlegg på modellbeskrivelser og beregningsmodeller.

Kontrollen er utført iht. anbefalinger som er gitt i NVEs veiler for hva en uavhengigkvalitetssikring må omhandle.

Tabell 2. Generelle kommentarer og avvik ved den uavhengige kvalitetssikringen.

Avvik Referanse	Henvisning til kapittel	Registrerte avvik /spørsmål	Status	Svar på kommentarer
1.	Generelt for rapporten	Tydelig at rapporten er satt opp etter NVEs veileder. Tydelige og beskrivende kart og bilder fortløpende i rapporten. Rapporten er lettleselig og skrevet med bra språk.	OK	
2.	Vedlegg:	- Sjekk tegnforklaringene, ikke vanlig å bruke kommategn i skala, f.eks. skala A4 1:2,522. Benytt heller skala med helt tall om mulig. - Det står i tegnforklaringen at kart er i A4, men den oppgitte skalaen er i A3. Kontroller og endre dette på alle kart i vedlegg som det er feil på. Viktig at dette er riktig.	OK	Det er zoomet inn for å få med mest mulig detaljer.
			IG	Utbedret

Avvik Referanse	Henvisning til kapittel	Registrerte avvik /spørsmål	Status	Svar på kommentarer
		• Registreringskart: • Bør levere ett med større målestokk. Vanskelig at tyde i kartleggingsområdene pga. mye informasjon oppå hverandre: Iht.veileder står det at målestokk er anbefalt 1:10 000 eller større.  • Løsneområdene for snøskred er automatisk skapt. Majoriteten av disse arealene er ikke reelle løsneområder og «skjuler» bare bort de reelle. • Savner avmerking på Reg. Kart for flomskred løsneområder. • Savner avmerking på Reg. Kart for løsneområder for sørpeskred på jordene.	ANM ANM ANM	Det ble levert reg.kart med to ulike oppløsninger. Et "fullstendig" og et "ufullstendig" som var zoomet mer inn. Nye er laget for rev. 1. Utbedret De er gjort mer synlig nå. Utbedret
3.	Sidemannskontroll utført/skjema (Kontroll- og referanseside)		OK	
4.	Forord/Sammendrag	Det er to «Figur 1-1». Endre til unike navn.	ANM	Utbedret

Tabell 3: Kommentarer og avvik ved den uavhengige kvalitetssikringen. Oppsettet følger oppsettet for rapporten.

Avvik Referanse	Henvisning til kapittel	Registrerte avvik /spørsmål	Status	Svar på kommentarer
5.	Innledning	Samme kommentar som i 4.	ANM	Utbedret
6.	1.1. Sikkerhets-klasse for skred		OK	
7.	1.2 Metodikk		OK	

8.	1.2.1 Kartlegging av historiske skredhendelser	Savner litt mer lokal informasjon om området fra lokalbefolkning som har bodd/bor i området. Ble det prøvd å oppnå kontakt med de lokale?	ANM	Vi har ikke mer informasjon enn det som står skrevet i rapporten. Lite lokalkunnskap å oppdrive pga. fralyttet/lite folk som oppholder seg i området.
9.	1.2.2 Digitale terrengmodeller (DTM)	Kildeområder for skredtyper beskrives, men savner for sørpeskred.	OK	
10.	1.2.3 Andre datakilder	Spesifiser hvilke løsmassekart og berggrunnskart (målestokk) som er benyttet i utredningen.	OK	
11.	1.2.4 Bruk av modeller	Skriv noen setninger om hvorfor dere valgte å bruke de ulike modellene. Modellene og forskjeller er godt beskrevet i vedlegg B, men en kort oppsummering her kan være bra.	ANM	Utbedret
12.	1.3 Forbehold		OK	
13.	2 Bakgrunn og grunnlagsmateriale. 2.1 Topografi, grunnforhold, vegetasjon og klima		OK	
14.	2.1.1 Terreng og dreneringsforhold (2.1.1.1 og 2.1.1.2)		OK	
15.	2.1.2 Grunnforhold		OK	
16.	2.1.3 Vegetasjon	- Skogen er godt beskrevet i området. Vurderingen blir utført med skog. - Har det blitt studert flybilder fra området for å se eventuelle endringer i vegetasjonen over årene det finnes bilder? 1971-2017 Spesielt med tanke på området på vestsiden, der det ikke er så tydelige skredbaner.	OK ANM	Flybilder er studert. Det er angitt under "1.2.3 Andre datakilder benyttet i vurderingen"

		Definer vernskog, så det framkommer godt i rapporten og på kart. Se også ref.43.	IG	Utbedret
17.	2.1.4 Klima		OK	
18.	2.2 Tidligere utredninger /kartlegginger i området		OK	
19.	2.3 Historiske skredhendelser	Har det blitt studert flybilder fra området for å se eventuelle endringer i vegetasjonen over årene det finnes bilder? 1971-2017 Spesielt med tanke på området på vestsiden, der det ikke er så tydelige skredbaner.	ANM	Flybilder er studert. Det er angitt under "1.2.3 Andre datakilder benyttet i vurderingen"
20.	2.4 Eksisterende sikringstiltak		OK	
21.	2.5 Eksisterende aktsomhetskart	Kunne vært diskutert hvorfor aktsomhetskart (snø og steinsprang) fra NGI viser at det ikke er avmerket for aktsomhet for stein og snøskred innenfor kartleggingsområdet.	ANM	Som det fremgår i teksten inkluderes feltundersøkelser i NGIs vurderinger av aktsomhetssoner.
22.	3 Skredfarevurdering		OK	
23.	3.1 Steinsprang 3.1.1 Er steinsprang aktuell prosess i påvirkningsområdet?		OK	
24.	3.1.2 Utredning løseområder og løsesannsynlighet		OK	
25.	3.1.3 Utredning av utløp		OK	

	3.1.4 Når steinsprang inn i kartleggingsområdet?			
26.	3.2 Steinskred 3.2.1 Er steinskred aktuell prosess i påvirkningsområdet	Temaet er belyst, men det er gitt en litt diffus antydning om hva man anbefaler videre, eventuelt utredes?.	ANM	Som det fremgår i teksten er videre utredning av steinskred ikke utført fordi det ikke er funnet løsneområder for steinskred ovenfor kartleggingsområdene.
27.	3.3 Snøskred 3.3.1 Er snøskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?		OK	
28.	3.3.2 Utredning av løsneområder og løsnensannsynlighet	Savner litt differensiering av løsneområder på reg.kart.	OK	
29.	3.3.3 Utredning av utløp	- Uklart hvor langt de faste massene vurderes at kan nå, og hvor langt påvirkningen fra skredvind går. - Ønsker beskrivelse av anslått trykk fra skredvind, dersom dette er vurdert. Hvordan er det beregnet trykk? Gjelder trykket oppgitt i tabell 3-3 kun faste masser? - Det er brukt SamosAT for simulering av snøskred fra øst og RAMMS for simulering av snøskred fra vest. Savner en kort diskusjon om forskjellene og evt. en beskrivelse av om ramms og samos gir like resultater eller varierer. Se kommentarer videre i avvik.30 og besvar der.	ANM	Utbedret
				Utbedret
				Simuleringer i Samos for østsiden kommer fra 20210463-06-R. Det er utført simuleringer i RAMMS for både øst og vest, men simuleringene fra samos i øst er beholdt i rapporten fordi det er disse som har gitt utgangspunkt i faresonene for snøskredfare fra øst. Simuleringene i

				samos og ramms er sammenlignbare.
30.	3.3.4 Når snøskred inn i kartleggingsområdet?	- Vær tydeligere på å spesifisere område nord og sør, samt nord A) og (B), og ikke bare «kartleggingsområdet». Litt uklart hvilke områder som beskrives i teksten. - Hva bestemmer utbredelsen av faresone 1/1000? Faste masser eller skredsky? Det står at for alternativ Nord (B) kan skred med sannsynlighet >1/1000 treffe kartleggingsområdet, med trykk på ca. 120 kPa. Betyr det at dere vurderer at de faste massene stopper på østsiden av elven? Oppgi også anslått trykk for alternativ (A) i teksten, og vær tydelig på om trykket skyldes faste masser eller skredsky. - Det står at snøskya kan nå jordbruksområdet på vestsiden av elven Vikja med sannsynlighet >1/5000. Betyr det at det bare er skredvinden som fastsetter 1/5000? - Savner noe som viser hvordan dere fastsetter faresonen med tanke på skredvinden. Dersom det er simulert skredvind, bør dette framkomme og vises i kart. Trykk fra faste masser er beskrevet, og trykk fra skredvind bør og beskrives (evt. en diskusjon rundt utfordringer ved å estimere trykket). - Det bør begrunnes tydeligere hvorfor dere mener at det kan genereres en skredsky her.	IG	Utbedret
				Utbedret
				Riktig
				Utbedret

		• Er høydegrenser justert i RAMMS? Beskriv. • Hvorfor er det benyttet «Large» volumkategori for alle simuleringer, også når skredvolumet er mindre enn 60 000 m³?		RAMMS sine høydegrenser er basert på innlandsklima i Alpene. Det er ikke gjort studier på hvordan dette overføres til typisk kystklima i Norge. Det er derfor stor usikkerhet i valg av høydegrenser i RAMMS. For å prøve å justere til lokale forhold har vi tatt utgangspunkt i et mildere kystklima og valgt verdier som tilsvarer "below 1000". Vi har testet med ulike kategorier (T, S, M og L) henholdsvis for ulike størrelser på løseområdene. Large er gitt som eksempel fordi modellresultatene her ble vurdert til mest realistisk mtp. lokale forhold og klima.
31.	3.4 Jordskred 3.4.1 Er jordskred aktuell prosess i påvirkningsområdet		OK	
32.	3.4.2 Utredning av løseområde og løsesannsynlighet	• Første setning her er ikke relevant i forhold til om jordskred er et problem eller ikke. Denne setningen hører hjemme i «samlet skredfarevurdering». • Her brukes navnet Ovrisdalen for første gang i rapporten. Introduser navnet tidligere, evt. bruk tidligere oppgitt navn, eks. elva Vikja. • I kap.3.4.2 henvises til Figur 3-16, antar det menes Figur 3-26.	ANM	Utbedret Utbedret Utbedret

33.	3.4.3 Utredning av utløp	Hva skal til for at jordskred når ned til kartleggingsområdet. Kan det utelukkes at det ikke er noen lommer med løsmasser i hele skråningen?	OK	
34.	3.4.4 Når jordskred inn i kartleggingsområdet?		OK	
35.	3.5 Flomskred 3.5.1 Er flomskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?		OK	
36.	3.5.2 Utredning av løsneområde og løsnensannsynlighet	- Kan skrive mer om eventuelle bekker høyere opp i skråningen. Kan de ta nye løp eller er det registrert at bekken tar nye løp? Det er avmerket erosjon på to steder høyt opp i skråningen i nordvest. - Det står ingenting om løsneområder ovenfor alternativ Nord fra høyereliggende skråning/terreng i vest, det område man senere i utredningen valgt å simulere skred ifra. Disse bør beskrives bedre i dette kapitlet.	ANM	Utbedret
			IG	Utbedret
37.	3.5.3 Utredning av utløp	Her virker som det er simuleringer i stor grad som ligger til grunn for utløp. Tenker spesielt, på løsneområde -RA-df-006. Savner diskusjon rundt om det er realistisk. Se kommentar i ref. 38. Tabell 3-4 – Volumkategorien her er feil- skal stå «1000 m³» i kolonneoverskriften.	ANM	Flomskred er ikke dimensjonerende faretype og har ikke avgjørende betydning for utstrekning av faresonene. Det står beskrevet at simuleringene er basert på svært sjeldne hendelser (1/5000) og som det fremkommer i legenden så er det snakk om lave hastigheter, men potensiale for utbredelse av hovedsakelig vannførende masser.
			ANM	Utbedret

38.	3.5.4 Når flomskred inn i kartleggingsområdet?	- Savner diskusjon av den nordligste simuleringen, hvilket har et utløp over store deler av kartleggingsområdet i Nord (A). Er dette et aktuelt scenario, med hvilken sannsynlighet? - Savner en liten diskusjon og beskrivelse om hvor stor fare det er for flomskred inn på kartleggingsområdet i Nord (A). Dette framkommer ikke godt nok. - Mangler begrunnelse i kap.3.5.4 om hvorfor flomskred har sannsynlighet 1/1000 iht. kap 3.7 i kartleggingsområdet Nord (A). - Savner avmerking av flomskred fig.3-43, dersom dette skal samsvare med endelig faresonekart i vedlegg F	IG	Sannsynlighet er angitt i figurteksten, men nå også utdypet i teksten.
				Utbedret
				Utbedret
			ANM	Utbedret
39.	3.6 Sørpeskred 3.6.1 Er sørpeskred aktuell prosess i påvirkningsområdet		OK	
40.	3.6.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet	- Savner diskusjon om løsneområder og sannsynlighet for fareområde 1/1000 /fra vest) og generell sannsynligheten for sørpeskred, spesielt fra vest siden. - Hvorfor er det ikke brukt senere forskning utført av NGI, NVEs Eksterne rapport Nr. 8/2021 FOU 80606 som tar opp de store usikkerhetene rundt sørpeskred og løsneområder til disse, samt beskriver de mest sannsynlige terrengformene for løsneområde? - Iht. NVEs veileder så bør det være noen historiske hendelser eller tydelige tegn på tidligere skred for at man skal fastsette faresoner, se steg 4: <i>Avgjøre om sikkerhetskravene i TEK 17 er oppfylt med tanke på sørpeskred.</i> Er det grunnlag for det? Er enig i at det er vanskelig å si med 1/5000 sannsynlighet	ANM	Utbedret
			ANM	Utbedret
			ANM	For faresoner på 1/1000 er det ikke nødvendigvis mulig å støtte seg på historiske hendelser, spesielt når det gjelder sørpeskred hvor avsetningene fort kan blir borte avhengig av

		og da spesielt når det er hendelser i området. Men bør ha litt mer argument og diskusjon på hvorfor man setter faresonene som man gjør. I alla fall poengtere usikkerheten godt i dette fallet.		massetransporten. For sørpeskred er man derfor nødt til å bruke indikasjoner fra klima og terrenget i vurderingene når faresoner fastsettes. Vedr. historiske hendelser så er det ingen fastboende i området og trolig få som ferdes i terrenget på vinterstid. Dette kan ha innvirkning på antall registreringer i området.
41.	3.6.3 Utredning av utløp	Står beskrevet at sørpeskred i all hovedsak vil følge eksisterende bekkeløp. Savner litt mer diskusjon om faktiske bekkeløp i området. Det er belyst, men når det er så store områder som legges faresoner på så bør detaljgraden vært høyere.	ANM	Utbedret
42.	3.6.4 Når sørpeskred inn i kartleggingsområdet?	I henhold til simuleringer så ja, men det er mye usikkerhet om det er skadelige masser eller ikke som når ned i kartleggingsområdet. Iht. veilederen bør det være tegn på eldre vifteform, avsetninger etc. Dette bør diskuteres litt mer rundt, da det ikke er noen synlige avsetninger og fareområder opptar om lag store deler i nord.	ANM	Utbedret
43.	3.7 Hva er den samlede skredfare?	- Veldig fint oppsummert og visualisert med kartene som viser skredfare fra både øst og vest. - Figur 3-43 samsvarer ikke med Vedlegg: Faresonekart. Det er markert flomskredfare som dimensjonerende skredtype i alternativ sør i vedlegget, men ikke i figuren 3-41. - Savner polygon/avmerking for vernskog på faresonekartet, eller om annet «skogkart». Det står på faresonekart og i rapporten at det er vurdert etter dagens skogstatus. Definer på kart hva som er skog av betydning for den spesifikke skredfarevurderingen, og hva som er vernskog.	OK	
			IG	Utbedret
			IG	Utbedret

44.	3.8 Avvik fra tidligere skredfareutredninger		OK	
45.	3.9 Stedsspesifikk usikkerhet		OK	
46.	4 Konklusjon	- I første setning står det; «... vurdert til å befinne seg innenfor faresone S1» Her menes faresone 1/100, og ikke S1. S1 står for sikkerhetsklasse, ikke faresone. - Det står at faren for jordskred er i størrelsesorden 1/5000 i Nordlig del. Det kan med fordel spesifiseres hvor dette er (nord B), ettersom det ikke er avmerket som noe dimensjonerende eller i faresonekart. Dette er ellers noe som kan bli bortglemt ved videre arbeider i området.	IG	Utbedret
			ANM ANM	Utbedret
47.	5. Referanser	Savner referanse til veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng.	OK	Veilederen er referert til på s. 4, men har nå lagt til i referanselisten også.

Dokumentinformasjon/ <i>Document information</i>		
Dokumenttittel/<i>Document title</i> Skredfarevurdering for transformatorstasjon Refsdal frem til BP1		Dokumentnr./<i>Document no.</i> 20210463-07-R
Dokumenttype/<i>Type of document</i> Rapport / Report	Oppdragsgiver/<i>Client</i> Statnett	Dato/<i>Date</i> 2022-12-09
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/<i>Proprietary rights to the document according to contract</i> NGI		Rev.nr.&dato/<i>Rev.no.&date</i> 1 / 2023-03-01
Distribusjon/<i>Distribution</i> BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/<i>Keywords</i> Trafostasjon, skred, steinsprang, sørpeskred, snøskred, flomskred, grunnforhold		

Stedfesting/ <i>Geographical information</i>	
Land, fylke/<i>Country</i> Vestland	Havområde/<i>Offshore area</i>
Kommune/<i>Municipality</i> Vik	Feltnavn/<i>Field name</i>
Sted/<i>Location</i> Refsdal	Sted/<i>Location</i>
Kartblad/<i>Map</i>	Felt, blokknr./<i>Field, Block No.</i>
UTM-koordinater/<i>UTM-coordinates</i> Sone: Øst: Nord:	Koordinater/<i>Coordinates</i> Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/ <i>Document control</i>					
Kvalitetssikring i henhold til/ <i>Quality assurance according to NS-EN ISO9001</i>					
<i>Rev/</i> Rev.	<i>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</i>	<i>Egenkontroll av/ Self review by:</i>	<i>Sidemanns-kontroll av/ Colleague review by:</i>	<i>Uavhengig kontroll av/ Independent review by:</i>	<i>Tverrfaglig kontroll av/ Inter-disciplinary review by:</i>
0	Originaldokument	2022-12-08 Peter Gauer / Heidi Hefre / Elise Morken	2022-12-05 Frode Sandersen	2023-01-26 Sweco	
1	Kommentarer fra Sweco (uavhengig kvalitetssikring)	2023-02-27 Elise Morken	2023-02-27 Frode Sandersen		

Dokument godkjent for utsendelse/ <i>Document approved for release</i>	Dato/<i>Date</i> 1. mars 2023	Prosjektleder/<i>Project Manager</i> Vidar Kveldsvik
---	---	--

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: GeoMiljø – Offshore energi – Naturfare – GeoData og teknologi

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Geotechnics and Environment – Offshore energy – Natural Hazards – GeoData and Technology.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

