

Til: LERØY AURORA AS  
v/ Jan Arild  
Kopi til:  
Dato: 2025-08-12  
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /  
Dokumentnr.: 20250213-01-TN  
Prosjekt: Snøskred mot oppdrettsanlegg - Lerøy Aurora AS  
Prosjektleder: Peter Gauer  
Utarbeidet av: Peter Gauer  
Kontrollert av: Kjersti Gisnås

## Uavhengig kontroll av Multiconsults skredvurdering og supplerende vurdering

### Innhold

|          |                                         |           |
|----------|-----------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Bakgrunn</b>                         | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b>UKS</b>                              | <b>3</b>  |
| 2.1      | Grunnlag                                | 3         |
| 2.2      | Metode                                  | 3         |
| 2.3      | Utført kontroll                         | 4         |
| 2.4      | Overordnede krav                        | 4         |
| 2.5      | Grunnlagsdata                           | 5         |
| 2.6      | Skredfarevurdering                      | 6         |
| <b>3</b> | <b>Farevurdering</b>                    | <b>7</b>  |
| 3.1      | Forbehold                               | 7         |
| 3.2      | Metodikk og grunnlagsdata               | 7         |
| 3.3      | Digitale terrengmodeller (DTM)          | 8         |
| 3.1      | Andre datakilder benyttet i vurderingen | 9         |
| 3.2      | Befaring og feltobservasjoner           | 9         |
| 3.3      | Områdebeskrivelse                       | 9         |
| 3.4      | Lokalt klima                            | 10        |
| 3.5      | Topografi                               | 14        |
| 3.6      | Skog- og vegetasjonsforhold             | 15        |
| 3.7      | Feltobservasjoner                       | 17        |
| 3.8      | Skredfarevurdering                      | 20        |
| 3.9      | Samlede faresoner                       | 26        |
| <b>4</b> | <b>Referanser</b>                       | <b>28</b> |

**Vedlegg 00**    **Beskrivelse av modellverktøy og betydning av skog**

## Kontroll- og referanseside

# 1 Bakgrunn

Oppdragsgiver har ønsket en uavhengig kontroll av Multiconsults skredvurdering for det flytende oppdrettsanlegget ved Sessøya i Tromsø kommune, dokumentnummer 10256462-RIGberg-NOT-001\_rev\_01.

Kontrollen omfatter en gjennomgang av rapporten med hensyn til om den tilfredsstillende kravene i NVEs veileder for utredning av skredfare i bratt terreng.

I tillegg gjennomføres en selvstendig vurdering av hvorvidt rapportens konklusjoner anses som faglig rimelige.

Den selvstendige vurderingen av rekkevidde og sannsynlighet for skred vil inkludere en befaring til området, samt utløpsmodellering av dimensjonerende skred for faresone 1/1000.

Denne rapporten består av 2 deler. Første del (Kapittel 2) inkluderer en gjennomgang og kvalitetskontroll av Multiconsults rapport (rap. 10256462-RIGberg-NOT-001\_rev\_01), inkludert NGIs vurdering av utarbeidede faresoner. Andre del (Kapitel 3) inneholder en uavhengig vurdering av snøskred i henhold til sikkerhetsklasse S1 og S2. Dette inkluderer egne observasjoner fra befaring, modellering av utløp, og vurdering av faresone med nominell årlig sannsynlighet for skred 1/1000 (sikkerhetsklasse S2).

## 2 UKS

### 2.1 Grunnlag

Materialet, som NGI har fått tilgang til fra oppdragsgiver, består av følgende:

- Notat fra Multiconsult (datert 2024-04-19) Snøskredvurdering Fiskeoppdrett Sessøya, Snøskredutredning 10256462-RIGberg-NOT-001\_rev\_01

Dette notatet er utarbeidet i henhold til NVEs veileder for kartlegging og vurdering av snøskredfare, og følger de formelle kravene til struktur og innhold som angitt i veilederen<sup>1</sup>.

### 2.2 Metode

NVEs veileder<sup>1</sup> stiller krav til at den uavhengige kvalitetssikringen dokumenterer at utredningen er gjennomført i samsvar med veilederen, og har tilstrekkelig kvalitet. Arbeidet skal blant annet avklare:

- *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.»*

I den uavhengige kvalitetssikringen ligger ikke en direkte kontroll av de utarbeidede vurderingene, og utførende foretak har fullstendig ansvar for disse. Ved å gjennomføre UKS står ikke NGI medansvarlig for de utførte vurderingene. Vi har benyttet betegnelser for kontrollstatus og kommentar gitt i *Tabell 2-1* for å gjennomføre UKS.

---

<sup>1</sup> NVE, 2025. Digital veileder. Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. <https://veiledere.nve.no/utredning-av-sikkerhet-mot-skred-i-bratt-terreng/> [17.06.2025]

Tabell 2-1: Kontrollstatus og betegnelser for gjennomføring av UKS.

| Kontrollstatus | Benevnelse | Forklaring                                                                                                                                                         |
|----------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OK             | OK         | Kontrollert og vurderes å være iht. veileder og beste praksis. I noen tilfeller med et råd om forbedringspotensial eller et spørsmål for avklaring.                |
| Anmerkning     | ANM        | Kontrollert, men vurderes å avvike i noen grad fra veileder/kravspesifikasjon og beste praksis. Må ikke rettes opp, men bør svares ut eller begrunnes mer grundig. |
| Avvik          | AV         | Mangel eller klart avvik fra veileder/kravspesifikasjon. Det er forhold som må utbedres og som vurderes å avvike i slik grad at det må rettes opp.                 |

## 2.3 Utført kontroll

Den utførte kontrollen er gjort i forhold til temaene vist under:

1. Overordnede krav
2. Grunnlagsdata
3. Skredfarevurdering

For hvert av disse temaene er det gjort en vurdering og gitt kommentarer iht. metodikken beskrevet i Tabell 2-1.

## 2.4 Overordnede krav

Tabell 2-2 NGIs kommentarer til overordnede krav

| Tema                           | Status | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Notat mal og oppsett           | OK     | Dette notatet er utarbeidet i henhold til NVEs veileder for kartlegging og vurdering av skredfare, og følger de formelle kravene til struktur og innhold som angitt i veilederen. Omfanget av dokumentasjon og detaljeringsgrad er tilpasset oppdragets omfang.                                                  |
| Om oppdraget                   | OK     | Mål og begrunnelse for oppdraget kommer frem i sammen-<br>draget og innledningen.                                                                                                                                                                                                                                |
| Valg av sikkerhets-<br>klasser | OK     | OK                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Veilederversjon                | OK     | OK; Norges vassdrags- og energidirektorat, "Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng - Utredning av skredfare i reguleringsplan og byggesak." Accessed: Nov. 09, 2022. [Online]. Available: <a href="https://www.nve.no/skredfarekartlegging/">https://www.nve.no/skredfarekartlegging/</a> |
| Referanser                     | OK     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Skog                           | AMK    | Det er ikke forklart hvorfor dagens skog i området ikke er tatt hensyn til i vurderingen. Ingen skogspolygoner er gitt.                                                                                                                                                                                          |
| Faresonekart                   | OK     | Faresonekartet er utarbeidet iht. veileder. Det er utarbeidet faresoner for snøskred.                                                                                                                                                                                                                            |

## 2.5 Grunnlagsdata

Tabell 2-3. NGIs kommentarer til grunnlagsdata

| Tema                        | Status | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grunnlagsdata               | OK     | Grunnlagsdataene er stort sett tilstrekkelig gitt, men noe informasjon om skogen mangler.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Klima data                  | OK     | Kort beskrevet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Skog                        | AMK    | Skog og effekten av skog er ikke godt nok dokumentert i notat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Klimaanalyse                | AMK    | <p>Klimaanalysen er gjennomført med NVEs nettbaserte verktøy, basert på SeNorge-data med en modellhøyde på 351 moh. Verktøyet følger ikke det hydrologisk året som er metodisk svakhet.</p> <p>Ekstremverdiberegningen for nedbør benytter block-maksima-metoden, som har visse metodiske begrensninger i denne konteksten. I tillegg er bruk av nysnøhøyde som inngangsparameter i skredmodellkjøringer kun begrenset egnet.</p> <p>Det er uklart hvor opplysningen om en maksimal snødybde på 338 cm den 6. april 1920 stammer fra, ettersom SeNorge-dataene kun dekker perioden fra 1958 og fremover. Datoen er nevnt to ganger i teksten, men sett i sammenheng med figur 3 er det sannsynlig at det er en feil, og at den korrekte datoen burde være 6. april 2020.</p> <p>Ønskelig er et plot som viser statistikk for ekstreme verdier av årlig maksimum snøhøyde eller vannekvivalent.</p> <p>En gjennomsnittlig nysnødybde på 42 cm over tre døgn anses som relativt høy. Det er imidlertid uklart hvilke beregningsmetoder som er benyttet i dette tilfellet. (Eller er menes gjennomsnitt av block-maksima av 3 døgns-nysnødybde?)</p> |
| Tidligere utredninger       | OK     | Ingen kjente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Historiske hendelser        | OK     | Ingen kjente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Eksisterende sikringstiltak | OK     | Ingen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Feltarbeid                  | OK     | Dekker mesteparten av påvirkningsområdet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Registreringskart           | OK     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Modellering                 | AMK    | <p>Snøskred og skredvind: Det finnes kun et begrenset antall dynamiske modeller som håndterer begge deler av et snøskred – både den tetten delen og snøskyen. Multiconsult benytter en pre-release-versjon av modellen <i>RAMMS::Extended</i>.</p> <p>Denne modellen er fortsatt i en valideringsfase. Våre egne erfaringer tilsier at modellen kan være sensitiv for visse valg av inngangsparametere. En slik parameter er for eksempel</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

| Tema | Status | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |        | <p>snøtemperaturen i modellen. Det finnes ingen forklaring på valget av referansetemperatur og temperaturgradient.</p> <p>Den valgte referansetemperaturen i RAMMS::Extended er satt til 0 grader ved havnivå, noe som indikerer tilnærmet isoterme forhold. Med en temperaturgradient på -0,3 grader per 100 meter tilsvarer dette en estimert sjøtemperatur på omtrent -1,5 grader i bruddområdet. Dette gir ikke de mest gunstige forholdene for dannelse av store snøskyer.</p> <p>Modellen er også kjent å vise en tendens, lik RAMMS::avalanche, til å underestimere hastigheten i skredbanen. På den annen side kan tettheten i snøskyen i enkelte tilfeller være overvurdert.</p> <p>Det er uklart hvilke løseområder som er benyttet for modellkjøringene. Er løseområdene i registreringskartet benyttet, eller andre?</p> <p>En bruddhøyde på 2 meter, normal mot terrenget, over et stort område med en tetthet på 300 kg/m<sup>3</sup> i en skråning med helling over 40 grader, er høyere enn det man normalt ville forvente for et tørt snøskred i dette området.</p> <p>På den annen side kan erosjon bidra betydelig til snøskred-dynamikken.</p> <p>En særskilt utfordring i simuleringen for området er å håndtere overgangen fra land til sjø, ettersom friksjonsforholdene for faste masser endres vesentlig i kontakt med vann. Tilsynelatende blir dette verken tatt hensyn til i modelleringen eller diskutert. Dette påvirker utløpslengden til faste masser i vann, og har dermed også indirekte betydning for skredvinden.</p> |

## 2.6 Skredfarevurdering

Tabell 2-4. NGIs kommentarer til skredfarevurdering

| Tema     | Status | Kommentar                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Snøskred | AMK    | Med tanke på at det eksisterer en generell usikkerhet ved bestemmelsen av faresonegrenser, antas faresonen for S2 å være rimelig. Likevel antar vi at intensiteten på snøskredene i kartlagte området er noe lavere enn det som er angitt i de presenterte snøskredsimuleringene. |

### 3 Farevurdering

Oppdragsgiver har bedt om en uavhengig vurdering av både rekkevidde og sannsynlighet for skred, som omfatter befaring av området og modellering av utløp for et dimensjonerende skred for faresone S2 med en nominell årlig sannsynlighet 1/1000.

#### 3.1 Forbehold

Skredfareutredningen for dagens situasjon tar utgangspunkt i de terreng-, klima- og vegetasjonsforholdene som er aktuelle på utredningstidspunktet, og benytter den metodikken, kunnskapen og de verktøyene som er tilgjengelige. Dette er forutsetningene for vurderingene som blir gjort.

Dersom disse forutsetningene endres, kan selve vurderingene av skredfaren også endres, og det kan være behov for å utføre en ny skredfareutredning.

Eksempler på endrede forutsetninger er:

- Nye skredhendelser eller nye opplysninger om tidligere skredhendelser.
- Endrede terrengforhold, for eksempel sikringstiltak, terrenginngrep i bratt terreng osv.
- Endrede vegetasjonsforhold (inkludert som et resultat av hogst og fjerning av produktiv og produksjonsskog, samt skogdekke generelt) eller endrede hydrologiske forhold, for eksempel avskjærende grøfter, veier osv.
- Ny metodikk har blitt tilgjengelig, inkludert ny metodikk for å vurdere effekten av klimaendringer på skredfare.

Vurderingene gjelder kun naturlig utløste skred, men det understrekes at menneskelige inngrep i terreng eller drenering kan endre stabilitetsforholdene og dermed øke risikoen for skred. Eventuelle terrengendringer, byggeaktiviteter eller justeringer i drenering må derfor nøye vurderes med hensyn til potensielle innvirkning på skredfaren.

#### 3.2 Metodikk og grunnlagsdata

Kartleggingen er basert på feltbefaringer, modellering og skredfaglige vurderinger som tar hensyn til lokale forhold.

Skredfare oppstår generelt som et resultat av en kombinasjon av ulike faktorer, som for eksempel:

- Terreng (helning, eksponering)
- Grunnforhold
- Vegetasjon (bunndekke, tetthet av skog)
- Nedbør (frekvens, mengde, snø eller regn)
- Vindens påvirkning (drivsnøavsetninger, intensitet av pålasting eller skavldannelse)
- Snødekkeegenskaper (maritimt eller kontinentalt klima)
- Utløpslengde for skred eller steinsprang

Alle disse parameterne varierer og kan beskrives ved 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 skredsannsynligheten per år, 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). Et 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.

I områder som kan utsettes for flere skredtyper, er det den samlede nominelle årlige sannsynligheten for skred som skal legges til grunn. Faresoner for den samlede skredfaren fastsettes ut fra skredtyper med lengst skredrekkevidde for henholdsvis nominelle årlig sannsynlighet 1/1000, og er utarbeidet i henhold til sikkerhetskravene i TEK17.

- Snøskred (våte og tørre) og skredvind er de relevante faretypene som inngår i dette notatet og i faresonene for kartlagte området.

Generelt, alle faresoner har en iboende usikkerhet. En kort diskusjon av usikkerhet som kan relateres til faresoner finnes i Gauer & Kristensen (2022, 2023).

### 3.3 Digitale terrengmodeller (DTM)

Med dagens høyoppløselige LIDAR-data spiller digitale terrengmodeller og avledede produkter en stadig viktigere rolle i terrenganalyse. Slike data supplerer feltobservasjoner og gjør det mulig å ekstrapolere lokale funn til større områder. Eksempler på avledede produkter inkluderer skyggekart, digitale terrengmodeller (DTM), digitale overflatemodeller (DOM), helningskart, ruhetskart og krumningskart.

Som grunnlag for terrenganalysene i denne rapporten er det benyttet nasjonal høydemodell med 1 m oppløsning. Terrengmodellen er basert på LiDAR-data fra den siste oppdateringen av Nasjonal detaljert høydemodell (NDH). Detaljerte helnings- og skyggekart er generert med utgangspunkt i terrengmodellen og brukt i de videre analysene. Skyggekart gir et relieffkart av terrenget, og brukes i geomorfologisk kartlegging for å identifisere urer, løsmassevifter, andre skredavsetninger og for å avgrense skredbaner, løsneområder m.m.

Helningskart brukes til å identifisere mulige løsneområder for ulike skredtyper. Helningskart for området er vist i Figur 3-8 og disse er basert på DTM 1 m oppløsning, resamplet til 5 m. Løsneområder er ikke kun avhengig av helning, men også generelt av terrengform, ruhet, vegetasjon og terrengkontinuitet.

Terrengmodellen er også benyttet som grunnlag for kjøring av beregningsmodeller, i dette tilfellet snøskredmodellen.

## 3.4 Andre datakilder benyttet i vurderingen

I tillegg til analyser av den detaljerte terrengmodellen, observasjoner fra befaring og historiske skredhendelser, er følgende andre datakilder benyttet og gjennomgått for området i skredfarevurderingen:

- Historiske flyfoto
- Aktsomhetskart for snøskred, steinsprang, jord- og flomskred fra NVE Atlas
- Skogsdata fra NIBIO: SR16 samt oversikt over produktiv skog fra AR5

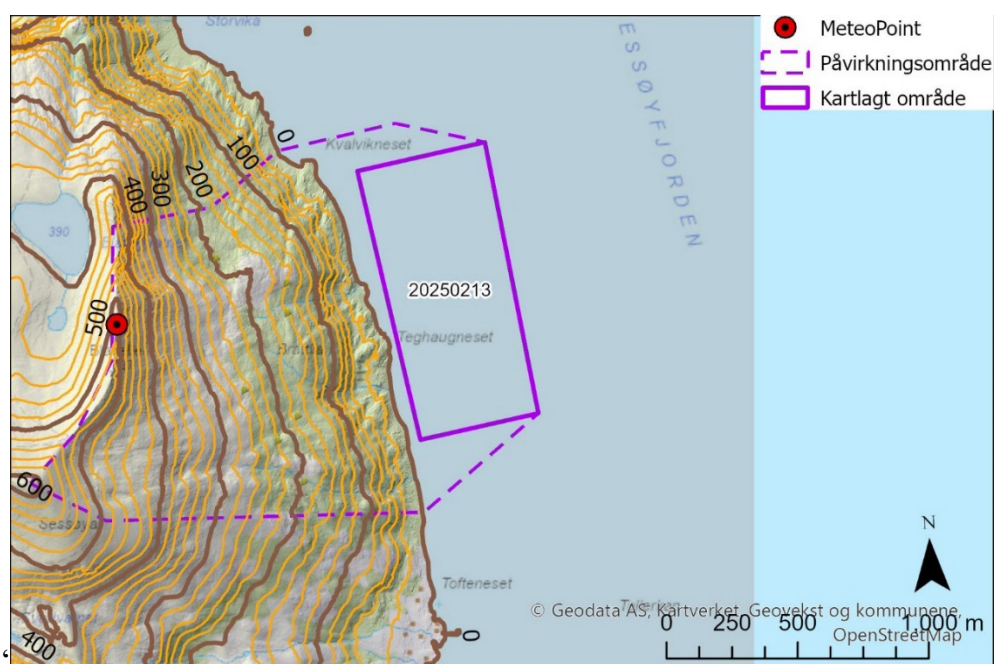
## 3.5 Befaring og feltobservasjoner

Feltbefaring ble gjennomført den 8. juli 2025. Ole Herman Strømmesen deltok på befaringen som representant for kunden. Befaringen utgjør et viktig grunnlag for vurderingene som gjøres, både når det gjelder observasjoner av potensielle løснеområder og utløpsområder, spesielt med tanke på synlige skader. Området ble undersøkt både med båt og til fots.

Sporloggen (GPS-track) fra befaringen er vist i Figur 3-10.

## 3.6 Områdebeskrivelse

Fiskeoppdrettsanlegg ved Sessøya i Tromsø kommune ligger på østsiden av Sessøya, ved Finnvika. Flåten med kontrollenhet er plassert omtrent 150 m fra land, mens selve oppdrettsanlegget ligger mellom 160 og 300 m fra kystlinjen (Figur 3-1 og Figur 3-2).



Figur 3-1 Oversiktskart av området oppdrettsanlegg Lerøy på Sessøya. MeteoPoint er referansepunkt for klimaanalyse.

Den østvendte fjellsiden bak anlegget strekker seg fra Geithaugneset (0 moh.) og opp til toppen av Blåfjellet, som ligger på 500–600 moh. Fjellsiden har en gjennomsnittlig helning på ca. 28 grader. Den nedre delen av fjellsiden er skogkledd opp til omtrent 200 moh.

Kartleggingsområdet dekker rundt 50 ha, mens det antatte påvirkningsområdet er på ca. 210 ha.

Deler av kartleggingsområdet ligger innenfor aktsomhetsområder for snøskred (NAKSIN). I påvirkningsområdet finnes det også noen aktsomhetsområder for steinsprang og for jord- og flomskred (<https://kartkatalog.nve.no/>).

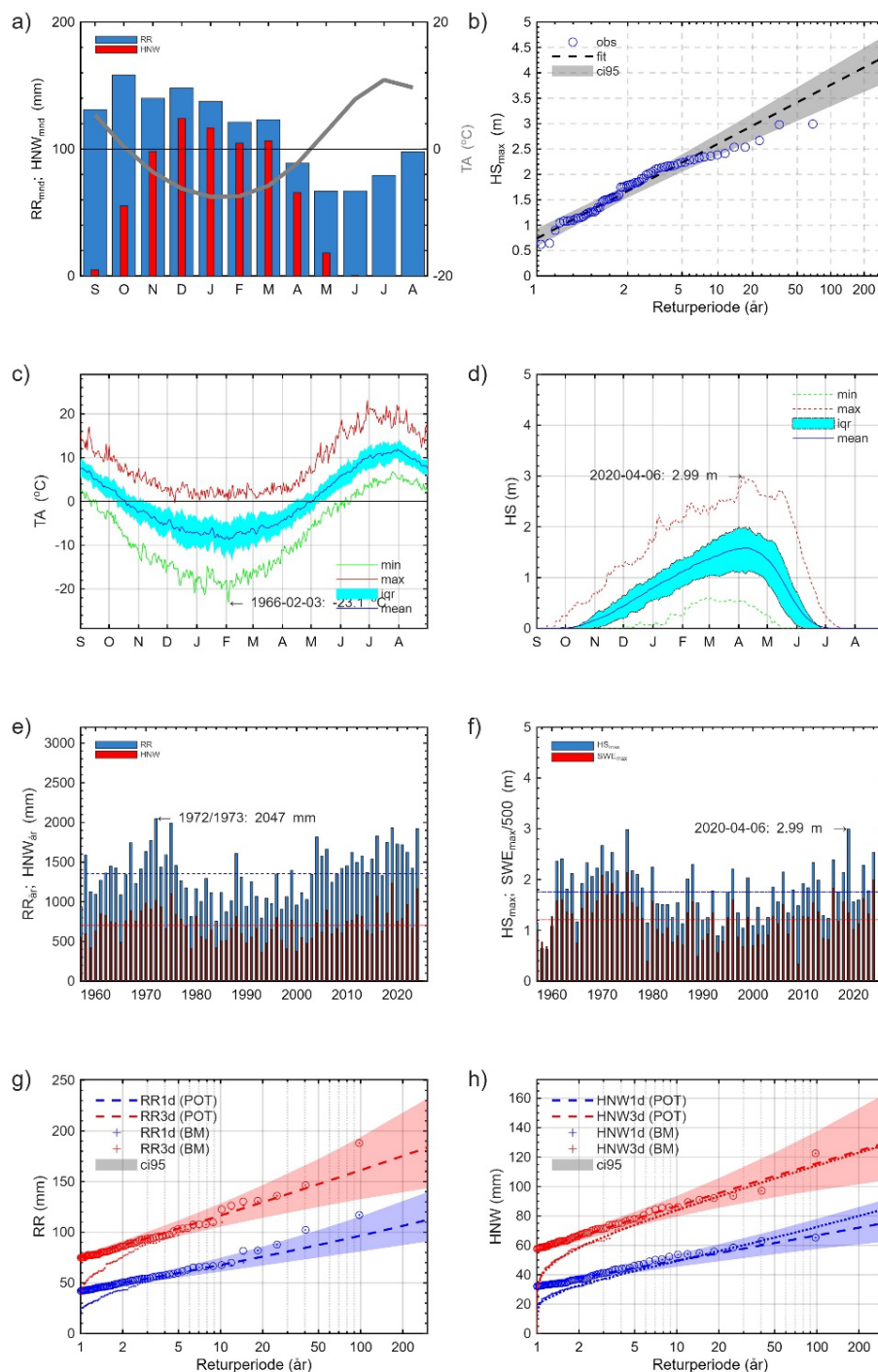


*Figur 3-2 Oversiktsbildet av området oppdrettsanlegg Lerøy på Sessøya tatt fra øst side av oppdrettsanlegg mot vest.*

### 3.7 Lokalt klima

Det er kun begrenset tilgang til målestasjoner med komplette observasjoner i området. Derfor ble blant annet SeNorge-datasettet benyttet som proxy i vurderingene (Lussana et al., 2016; Saloranta, 2014). Figur 3-3 viser interpolerte klimadata for et referansepunkt ved 500 moh. på ryggen av Blåfjellet, for perioden 1957–2024. Referansepunktet er vist i Figur 3-1.

Disse dataene utgjør en del av grunnlaget for vurdering av lokalklimaet opp mot sannsynligheten for utløsning av ulike skredtyper og i noen grad deres forventede størrelse. Viktige klimatiske faktorer inkluderer langtidsgjennomsnittet, samt deres variasjon, distribusjon og forventede ekstremverdier.



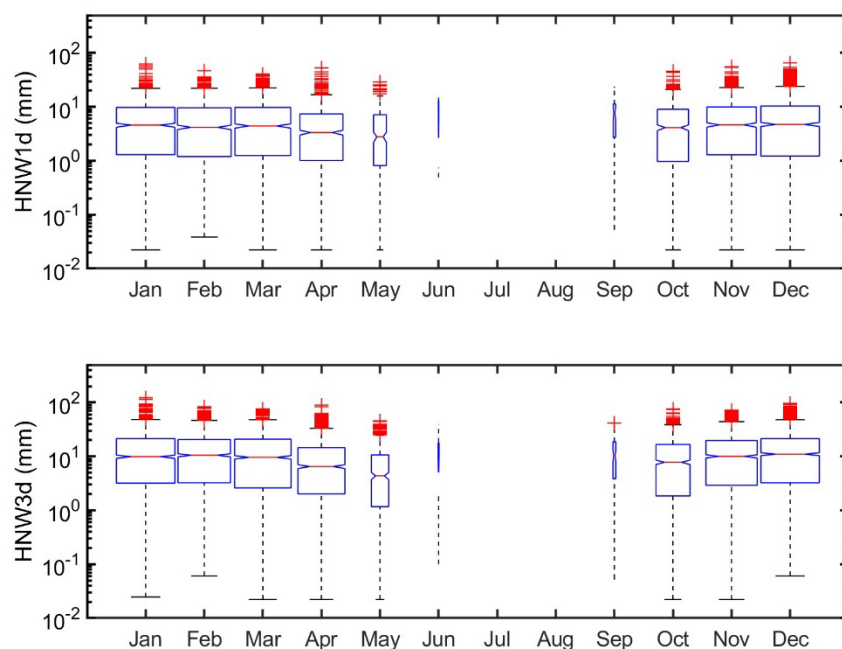
MP-Sesøy (UTM33: X624254, Y7740838, 510 moh). Dataperiode: 1958-2025

**Figur 3-3** 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 og block maxima) for 1- og 3-døgns nedbør (g) og nysnøtilvekst (h). Dataperiode: 1958 – 2024. Gjennomsnitt er beregnet over hele perioden.

Årsmiddeltemperatur i området er 0.3 °C og døgnmiddeltemperaturen varierer normalt fra -21°C til 23.0 °C. Gjennomsnittlig årsmaksimal snøhøyde er ca 1.6 m og maksimal snøhøyde siste 60 år er estimert på 2.99 m.

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 300-års snøhøyde beregnet å være 4.25 m, og 1000-års nedbør 130 mm/døgn. Dette er estimater basert på korte observasjonsperioder og statistiske usikkerheter.

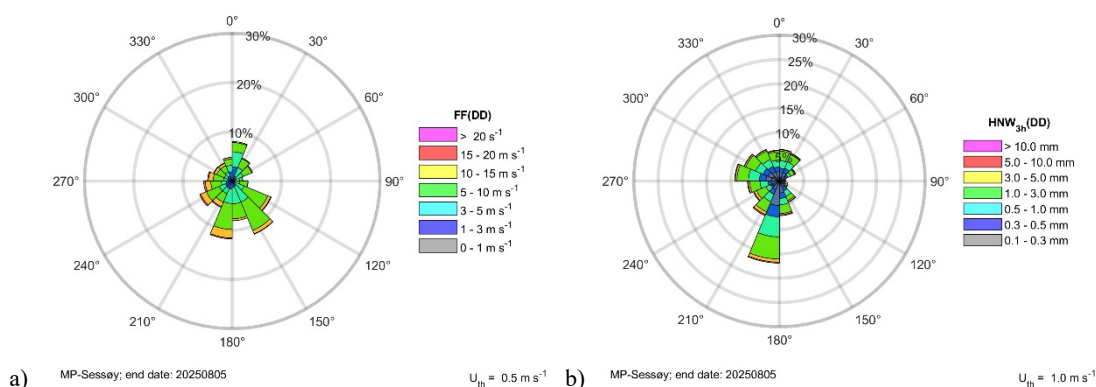
Forventet daglig nysnø (vannverdi) for dager med målbar nedbør ligger rundt 4,5 mm om vinteren (Figur 3-4, øvre panel). Den forventede tredagers akkumulerte nysnøen (vannverdi) er på 10 mm, og maksimale tredagers nysnøfall kan forventes å overstige 50 mm i hver vinter måned (Figur 3-4, nedre panel).



MP

Figur 3-4 Boksplott for daglig nysnø vannekvivalent (HNW) og tredagers akkumulerte nysnø vannekvivalent (HWS3d) for perioden 1958–2025. Medianen er markert med en rød strek i midten, den blå boksen viser 25.–75. persentil, og «whiskers» strekker seg til de mest ekstreme datapunktene som ikke regnes som uteliggere. Uteliggere er markert med et rødt kryss. Høyden på innsnevringen i boksen angir et 95 % konfidensintervall for medianen.

Figur 3-5 viser vindrose og fordeling av nedbør som snø som funksjon av vindretninger for meteo-punktet. Datene er basert på modellsimuleringer med 3 times intervaller.



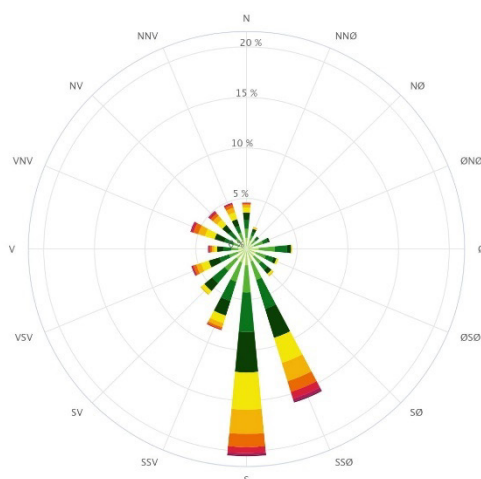
Figur 3-5 a) Vindrose for simulerte vindhastigheter ( $> 0.5 \text{ m s}^{-1}$ ) som funksjon av vindretninger  
b) fordeling av 3-timers nedbør i form av snø som funksjon av vindretning.

Vinden har en tendens til å komme sørlige retninger (Figur 3-5a). Dette i er i samesvar med målinger fra nærliggende stasjoner fra MET.no. Figur 3-6 viser vindroser for MET.no sine målestasjoner Tromsø LH – Storkjølen og Hekkingen Fyr. På grunn av høyden over havet til Tromsø LH – Storkjølen-stasjonen, har disse målingene større relevans for farevurderingen som følger. Det er også en viss overensstemmelse med data fra Hekkingen Fyr, selv om samsvaret her er noe mindre. Disse stasjonene viser en dominerende sørøstlig vindretning, som muligens er påvirket av Malangsfjorden.

Nedbørførende vindretning er hovedsakelig fra vest (Figur 3-5b). Dette innebærer at oppdrettsanlegget ligger i le for disse vindretningene, noe som vil påvirke snøakkumulasjonen og dermed snøskredfaren.

Vindrose for Tromsø Lh – Storkjølen (SN90491) i perioden;  
1.2002–8.2025.

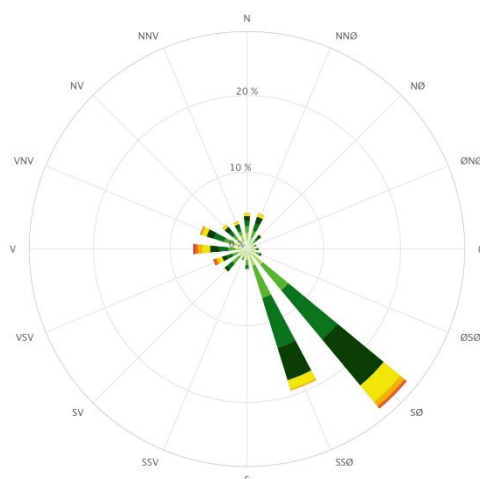
Stille (0,0–0,2 m/s) = 0,5 %



a)

Vindrose for Hekkingen Fyr (SN88690) i perioden; 8.2015–  
8.2025.

Stille (0,0–0,2 m/s) = 1,6 %



b)

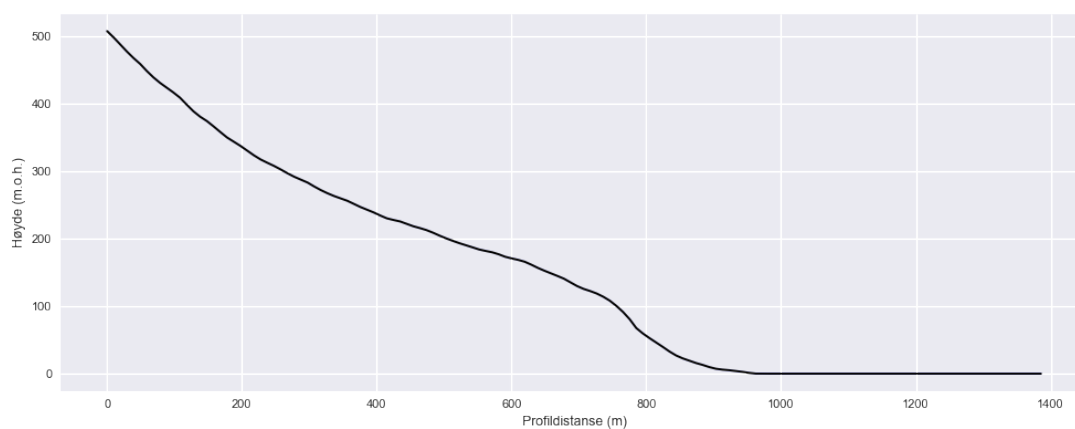
Figur 3-6 Vindroser for a) Tromsø Lh – Storkjølen (Stld 90941, 790 moh) b) Hekking Fyr (Stld 88690, 33 moh) (kilde: Norsk klimaservice senter / seklima.met.no).

## 3.8 Topografi

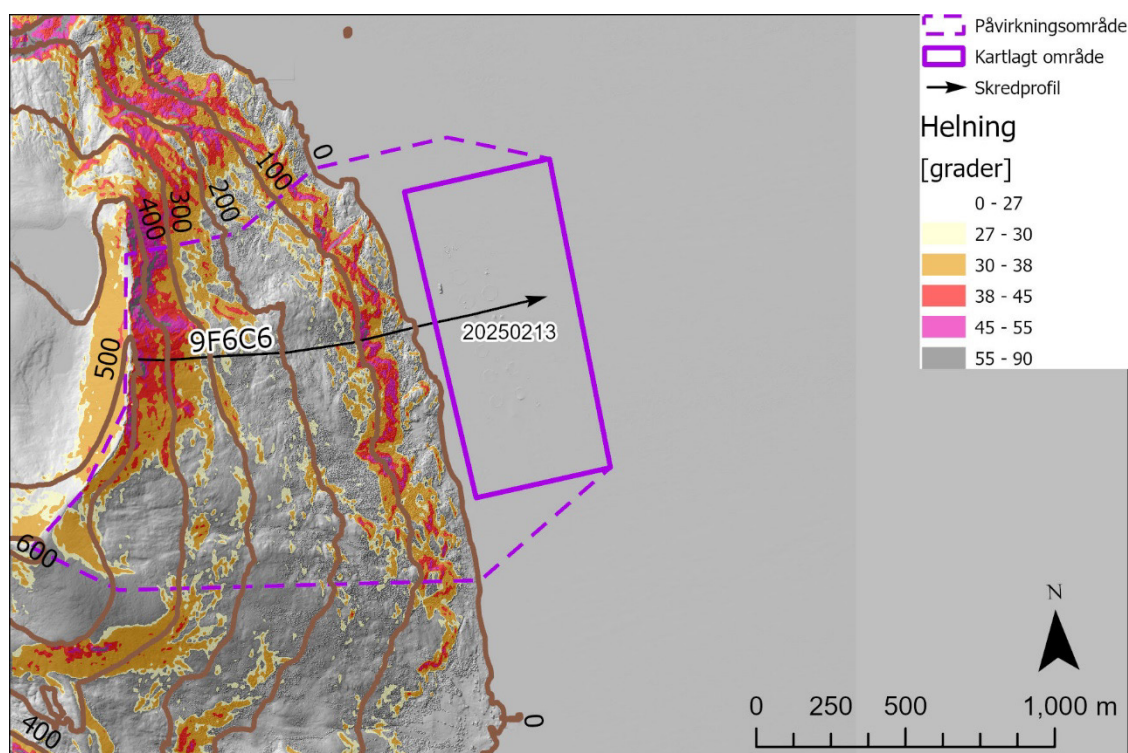
Kartleggingsområdet er omtrent 960 m langt og ligger ved foten av en østvendt fjellside med en høydeforskjell på cirka 540 m. Fjellsiden har i store deler en helning mellom 20 og 45 grader, og terrengformen er overordnet sett konkav–konveks–konkav. Figur 3-7 illustrerer et typisk terrengprofil fra området.

Store deler av påvirkningsområdet består av lett jorddekket grunnfjell.

Figur 3-8 viser helningskart av området.



Figur 3-7 Eksempel av terrengform langs et profil (se Figur 3-8).



Figur 3-8 Helingskart or området.

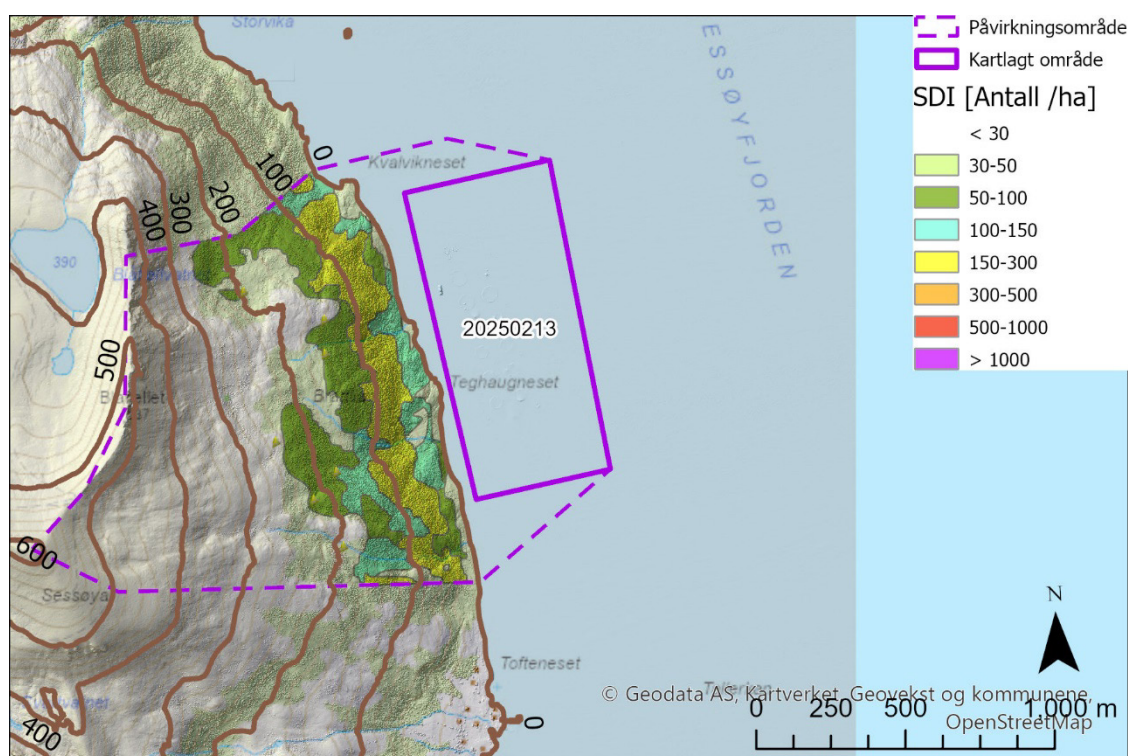
### 3.9 Skog- og vegetasjonsforhold

Generelt antas det at skog har en positiv effekt for å redusere frekvens og utbredelse/-utløpslengde av skred i bratt terreng. Kravspesifikasjon til skogbestanden er forskjellig for de ulike skredfaretypene, men generelt kan en si at det er ønskelig med en kontinuerlig høy grad av skogdekke. Effekten av skog og dens påvirkning på faresoner for skred med returperiode rundt 100 år og sjeldnere er usikker.

SR16 datasett fra NIBIO er brukt som grunnlag for vurdering av dagens skogforhold. Flybilder, sammen med observasjoner under befaring, er grunnlaget for den manuelle gjennomgangen. Skogspolygoner som er inkludert i vurderingene for dagens situasjon, er vist i Figur 3-9. Området er i hovedsak dominert av lauvskog.

Effekten av skog er bestemt av skogtettheten. Reinekens (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.

For tilstrekkelig og sammenhengende skogdekke for effekt mot skred er det for skogdatasettet i denne kartleggingen satt terskelverdi for  $SDI > 100$ . Dette betyr ikke at skog med SDI over 100 vil stoppe alle skred fra å løsne eller bre seg ut, men en slik skog vil kunne bidra til å redusere utløsningssannsynligheten for snøskred og ha bremsende egenskaper.

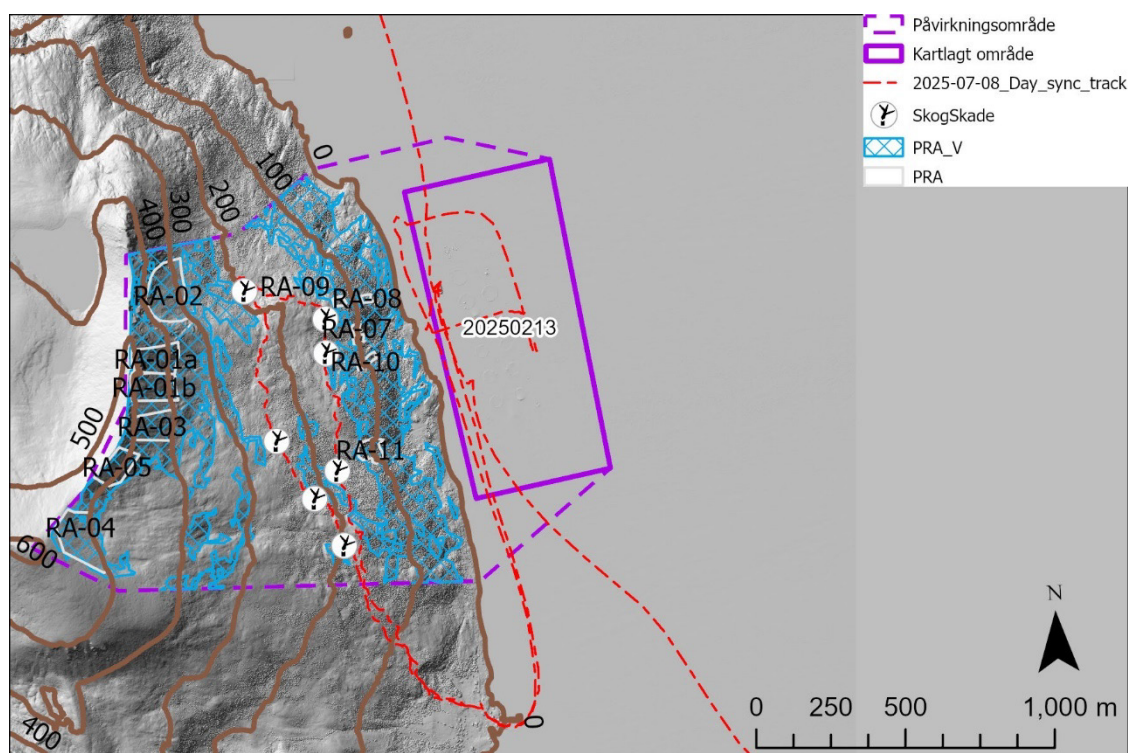


Figur 3-9 SDI (dimensjon antall trær per hektar) oversikt for kartleggingsområdet. Data beregnet fra SR16.

NIBIOs AR5-datasett viser at det ikke finnes produktiv skog i området, det vil si skog som regnes som bruksskog og kan utvikle seg til høy bonitet. Derfor er alle skredfarevurderinger basert på dagens vegetasjonsforhold.

### 3.10 Feltobservasjoner

Figur 3-10 viser et registreringskart med GPS-sporlogg fra befaringen. I tillegg viser kartet det potensielle løseområdet (PRA\_V) i henhold til Voellmy-metoden med områder over rundt 30 grader (Bühler et al., 2018), samt et representativt utvalg (PRA) som ble brukt i simuleringene. Det utvalget anses som mest relevant for anlegget med hensyn til utløsingssannsynlighet og sammenhengende størrelse. I tillegg er noen mindre utvalg simulert som referanse. (se Tabell 3-2).



Figur 3-10 Registreringskart fra befaring.

Under befaringen ble det oppdaget noen områder med potensielt snøskredskadet skog.



*Figur 3-11 Skredskadet skog på nordside av påvirkningsområdet.*



a)



b)

*Figur 3-12 Potensielt skredskadet skog innenfor påvirkningsområdet. a) sett mot løснеområdet og b) mot kartleggingsområdet.*

## 3.11 Skredfarevurdering

### 3.11.1 Historiske skredhendelser

Det er ikke registrert noen skredhendelser i NVE Atlas. Oppdragsgiver opplyser at det heller ikke er kjent noen tidligere skredhendelser i fjellsiden.

### 3.11.2 Tidligere utredninger / kartlegginger i området

Multiconsult har tidligere gjort farevurderinger for snøskred for kartlingsområdet:

- Multiconsult (2024-04-19) Snøskredvurdering Fiskeoppdrett Sessøya, Snøskredutredning 10256462-RIGberg-NOT-001\_rev\_01

### 3.11.3 Eksisterende sikringstiltak

Det er ikke registrert (atlas.nve.no) eller observert sikringstiltak mot skred i påvirkningsområdet området.

### 3.11.4 Skredfareutredning per skredtype

#### 3.11.4.1 Steinsprang

Steinsprang kan forekomme i påvirkningsområdet, men anses ikke som relevant for kartleggingsområdet.

#### 3.11.4.2 Flomskred

Flomskred kan forekomme i påvirkningsområdet, men anses ikke som relevant for kartleggingsområdet.

#### 3.11.4.3 Jordskred

Jordskred kan forekomme i påvirkningsområdet, men anses ikke som relevant for kartleggingsområdet.

#### 3.11.4.4 Sørpeskred

Sørpeskred kan forekomme i påvirkningsområdet, men anses ikke som relevant for kartleggingsområdet.

#### 3.11.4.5 Snøskred

Det kartlagte området ligger i le for nedbør, spesielt fra vestlige retninger. Vind og snøfall fra sørøst kan føre til kryss-lasting i enkelte potensielle utløsningsområder.

Det finnes skogskader etter snøskred i påvirkningsområdet. Sjeldne og store snøskred, som kan genere betydelig skredvind, anses å kunne ha betydning for kartleggingsområdet.

Figur 3-13 viser området som er mest relevant for snøskred som kan nå inn i kartleggingsområdet.



Figur 3-13 Mest relevante løснеområder for snøskred under ryggen fra Blåfjellet.

Snøskred er modellert ved bruk av SAMOS-solver for både den tette delen av snøskredet og skredvinden. Skredvind (snøsky) må forventes fra store, tørre og blandede snøskred (Lied & Kristensen, 2003), og er tatt hensyn til i utarbeidelsen av faresonene. Modellverktøyet er nærmere beskrevet i Vedlegg 00. Det er benyttet en terrengmodell med 5×5 meters oppløsning, resamplet fra en original terrengmodell med 1×1 meters oppløsning.

En særskilt utfordring i denne simuleringen er å håndtere overgangen fra land til sjø, da friksjonsforholdene for faste masser endres vesentlig i kontakt med vann. Denne endringen er for eksempel ikke hensyntatt i dagen aktsomhetskart for snøskred, modellert med NAKSIN-modellen.

Her har vi benyttet Coulomb-friksjonslov kombinert med medrivning av snø. Friksjonsloven for den tette delen av det tørre snøskredet er inspirert av Gauer (2020) og Gauer et al. (2023) og er gitt ved:

$$(\sigma_{xz}, \sigma_{yz}) \sim \frac{u}{\|u\|} \mu \sigma_{zz} + \tau + \rho_{af} C_{Da} U^2 \quad (2)$$

Selv om Coulomb-andelen reduseres i vann, øker den hastighetsavhengige friksjonsandelen som følge av den vesentlig høyere tettheten i omgivelsesvæsken – nå vann, og ikke lenger bare luft. Derfor ble friksjonskoeffisienten ( $\mu$ ) redusert i vann, mens

omgivelsenes tetthet ( $\rho_{af}$ ) ble økt fra luftens til vannets tetthet.  $\tau$  representerer delvis kohesive effekter.

De benyttede parameterne og bruddhøydene for snøskredmodelleringen er delvis basert på returverdiene fra SeNorge klimadata. Det er imidlertid også tatt hensyn til lokal snøakkumulasjon, som påvirkes av løснеområdet form og helning, samt mulighet for pålagring som følge av vindtransport.

Når nedbøren kommer som snø, vil vinden bidra til opphopning av store snømengder i lesider. Det er derfor viktig å ta høyde for den lokale topografien: snø har en tendens til å akkumuleres i skålformede terrengformer, større snømengder vil samles dersom tilfangstarealet er stort, og vindretningen kan endres lokalt som følge av terrengformasjoner.

Modelleringen er utført med en løsnesannsynlighet for relativt store snøskred ( $\geq R3$ ; SWAG, 2016) i de utvalgte, mest aktuelle løsneområdene. De simulerte skredene er ment å representere store og sjeldne skredhendelser i sine respektive skredbaner, med en nominell årlig sannsynlighet i størrelsesorden 1/1000 (typisk mellom 1/300 og 1/3000).

For hvert enkelt tilfelle er modelleringsresultatene kritisk vurdert med hensyn til hvorvidt utløpet fremstår som vanlig eller ekstremt for den aktuelle skredbanen, samt hvilket scenario det antas å representere. Resultatene av disse vurderingene fremgår av de utarbeidede faresonekartene.

Løsneområdene er simulert enkeltvis. Generelle inngangsparametere som er brukt i alle simuleringene, er oppsummert i Tabell 3-1 og er basert på Gauer (2020).

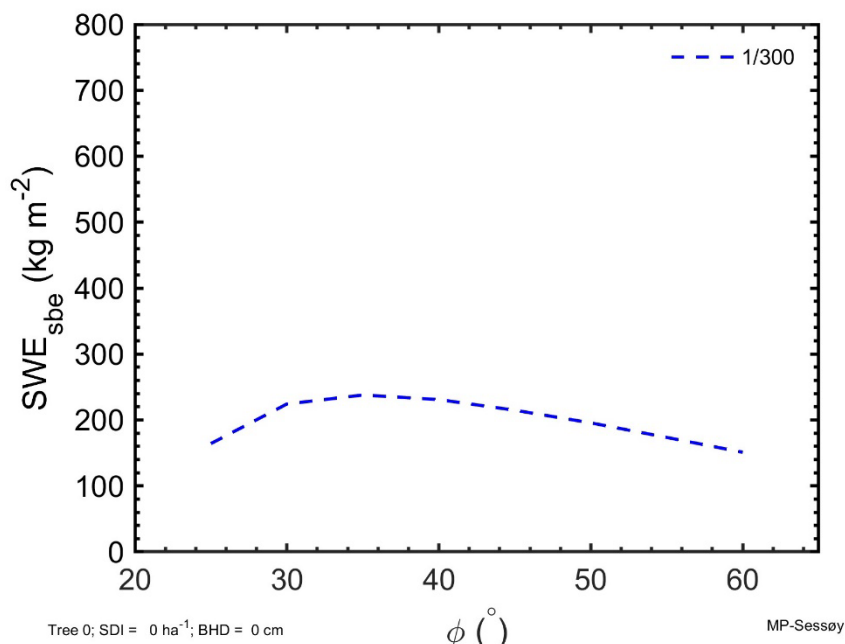
Tabell 3-1 Grunnparametere for modellkjøring av snøskred med SAMOS-solver.

| Coulomb friksjonsparametere, $\mu$<br>(-) |      | Omgivelses tetthet, $\rho_{af}$<br>(kg m <sup>-3</sup> ) |      | Skjærstyrke, $\tau$<br>(Pa) | Maks eroderbar masse, $m_e$<br>(kg m <sup>-2</sup> ) | Flyte tetthet, $\rho$<br>(kg m <sup>-3</sup> ) |
|-------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------|------|-----------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| luft                                      | vann | luft                                                     | Vann |                             |                                                      |                                                |
| 0,3                                       | 0,05 | 1,2                                                      | 1000 | 100                         | 50                                                   | 150                                            |

Bruddhøyden varierer i samsvar med resultatene fra den regionale og den lokale klimaanalysen. Det er antatt en vertikal gradient i snøfordelingen for maksimal snødybde, det vil si at snømengden øker med høyden. Den vurderte bruddhøyden øker derfor typisk med høyde over havet for det aktuelle løsneområdet.

Utgangspunktet for å fastsette utløst masse (NVE, 2024) er klimadata for et representativt punkt i påvirkningsområdet, samt beregning av det geometriske gjennomsnittet av tre døgns nysnø,  $HNW3_{dL}$ , og den empirisk bestemte initialmassen i henhold til Gauer (2018). Figur 3-14 viser basisverdier fra beregningene. Referanseverdien for beregningen er en årlig sannsynlighet på ca. 1/300. Til simuleringene ble disse verdiene

videre justert for mulig avsetning av drivsnø og lokale terrengforhold, basert på observasjoner.



Figur 3-14 Utgangspunktet for antatt utløst masse per kvadratmeter,  $SWE_{sbe}$ , avhenger av klimadata og helning i utløsningsområder. Plassering av Meteo-punkt er vist i Figur 3-1.

Areal, beregnet masse, bruddhøyde og gjennomsnittlig terrenghelning for de modellerte løsneområdene er listet for hvert enkelt løsneområde. Tabell 3-2 gir en oversikt over parametere som er brukt i modellkjøringene.

For dagens situasjon er skog inkludert i modelleringen der den har bremsende effekt. Området er i hovedsak dominert av lauvskog. Her er  $dN$  lik 0,002–0,008 m<sup>-1</sup> og SDI varierer mellom 50 og 300 i skogspolygonene (se Figur 3-9). Modelleringen er utført med bremseeffekt av skog i utløpsområdet, basert på  $dN$ -verdier, der dette er relevant. For en mer detaljert beskrivelse, se Vedlegg 00.

Tabell 3-2 Inngangsverdier for modellkjøring snøskred for område Blåfjellet/Sessøya.

| Løsneområde | Helning<br>(middel)<br><br>(°) | Brudd-<br>høyde<br><br>(m) | Projisert<br>grunnareal<br><br>(ha <sub>⊥</sub> ) | Masse per<br>kvadratmeter (projisert)<br>(kg m <sup>-2</sup> ) |
|-------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| RA-01a      | 43,7                           | 1.2/1.5                    | 1,313                                             | 330/413                                                        |
| RA-01b      | 41,6                           | 1,0/1,5                    | 1,304                                             | 275/415                                                        |
| RA-02       | 39,5                           | 1,2                        | 2,203                                             | 310                                                            |
| RA-03       | 37,5                           | 1,2                        | 1,160                                             | 300                                                            |
| RA-04       | 32,1                           | 1,2                        | 1,886                                             | 285                                                            |
| RA-05       | 36,0                           | 1,2                        | 0,985                                             | 300                                                            |
| RA-06       | 44,6                           | 0,8                        | 0,098                                             | 225                                                            |
| RA-07       | 47,4                           | 0,7                        | 0,068                                             | 200                                                            |
| RA-08       | 41,4                           | 0,7                        | 0,079                                             | 185                                                            |
| RA-09       | 39,4                           | 0,8                        | 0,110                                             | 210                                                            |
| RA-10       | 45,9                           | 1,0                        | 0,143                                             | 285                                                            |
| RA-11       | 42,3                           | 1,0                        | 0,511                                             | 270                                                            |

Et utdrag av simuleringsresultater er vist i Figur 3-15 og Figur 3-16. Simuleringene representerer større hendelser relevant for faresoner i sikkerhetsklasse S2. Modelleringer er utført med hensyn til dagens vegetasjonsforhold.

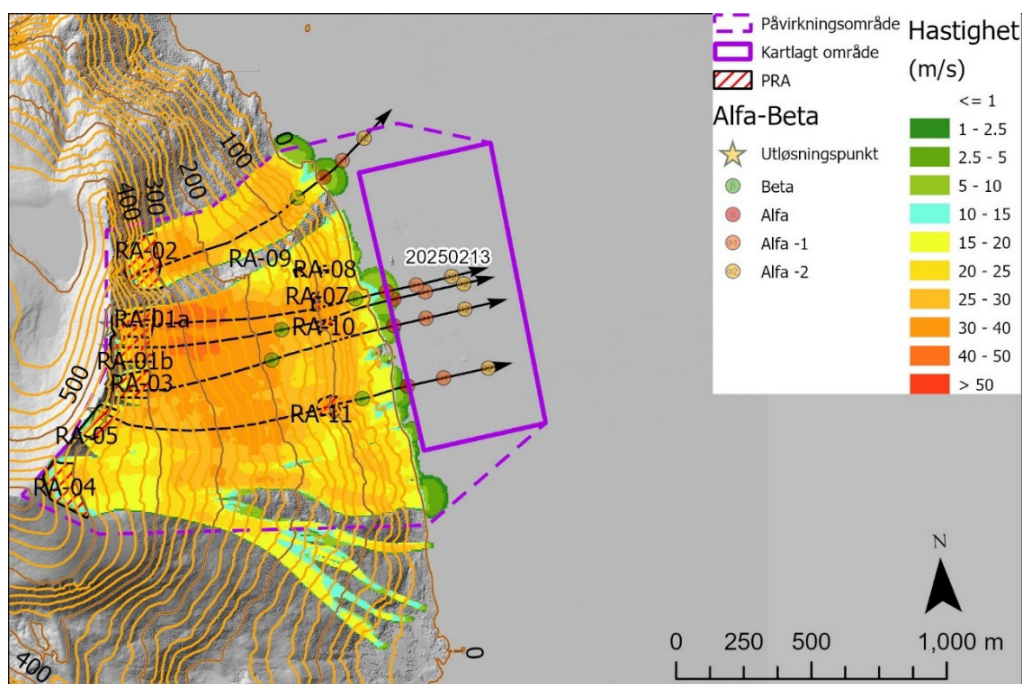
Simuleringene av de ulike løsneområdene ble for det meste utført hver for seg, men figuren viser samlede maksimumsverdier. Løsneområdene RA-01a og RA-01b ble også simulert som ett felles, større skredscenario.

Figur 3-15 viser simuleringer av bare den tette delen av skredet. Resultatene viser at faste masser fra store skred kan nå helt ned til sjøen, men massene bremses i vannet og flyter sakte inn mot den vestlige kanten av det kartlagte området. Figuren viser samlet maks hastighet. Resultater fra den empiriske  $\alpha$ - $\beta$ -utløpsmodellen (Lied & Bakkehøi, 1980) er også inkludert. Det bemerkes at  $\alpha$ - $\beta$  modellen ikke tar hensyn til sjø.

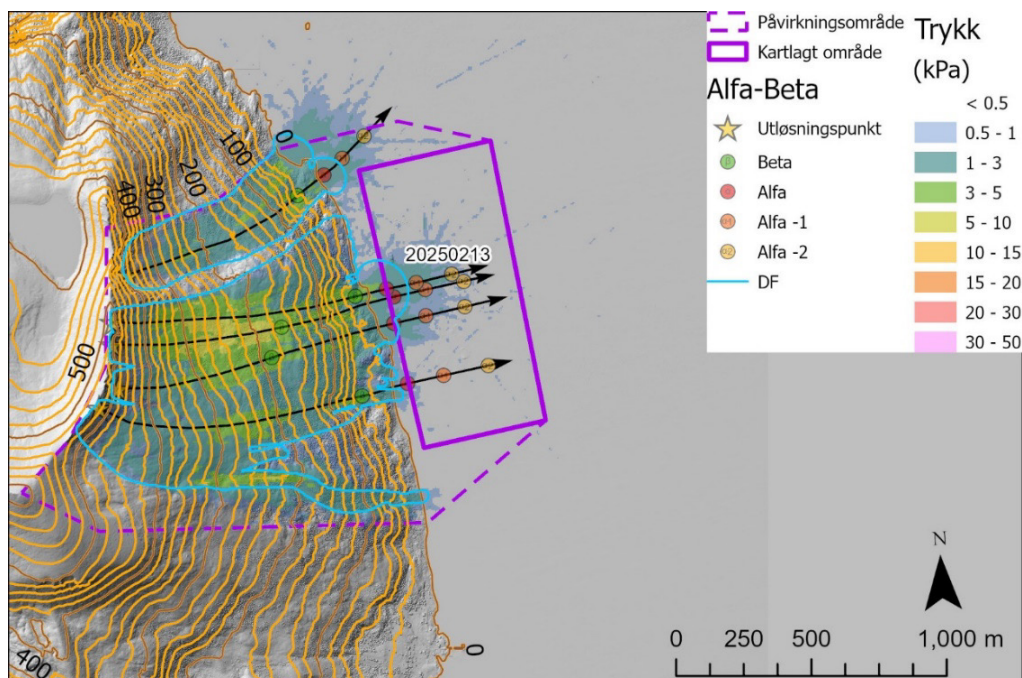
Figur 3-16 viser samlede simuleringer av både den tette delen og skredvinden. På samme måte som vist i Figur 3-15 blir den tette delen betydelig bremsset ved kontakt med vannet, mens den tilhørende snøskyen (skredvinden) kan nå vesentlig lengre. Figuren viser det samlede maksimale dynamiske trykket fra snøskyen, gitt ved:

$$P_{dyn} = \rho_{psa} \frac{U^2}{2}, \quad (3)$$

der  $U$  er hastighet i snøskyen og  $\rho_{psa}$  er tetthet i snøskyen. Blå linje viser rekkevidden til den tette delen av snøskredet.



Figur 3-15 Snøskredsimuleringer for kun den tetten delen av skred fra mulige løснеområder nedenfor ryggen av Blåfjellet (500 – 600 moh.). Resultatene viser samlede maksimal hastighet med dagens vegetasjonsforhold.



Figur 3-16 Simulering av blandet skred nedenfor ryggen av Blåfjellet med dagens vegetasjonsforhold. Blå linje viser rekkevidden til den tetten delen av snøskredet. Resultatene viser samlede maksimal trykk ( $P_{psa} = \rho U^2/2$ ) fra snøskyen.

## 3.12 Samlede faresoner

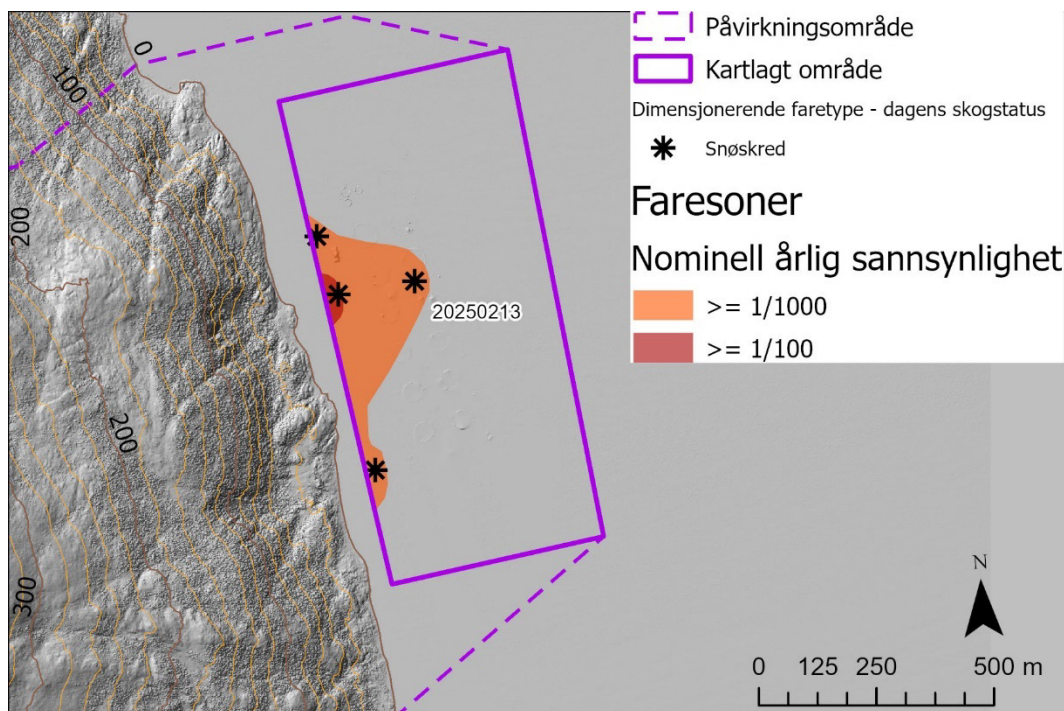
### TEK17 Sikkerhetsklasser for skred (A. Generelt)

For byggverk i skredfareområde er det definert tre sikkerhetsklasser for skred, inndelt etter sannsynlighet for og konsekvens ved skred. Sikkerhetskravene i de tre klassene er satt ut ifra at sikkerheten skal ivaretas både for menneskeliv og for materielle verdier. I vurderingen av hvilken sikkerhetsklasse byggverket kommer i, må det tas hensyn til konsekvenser for liv, helse, økonomiske verdier og andre samfunnsmessige konsekvenser. Miljøkonsekvenser er omfattet av samfunnsmessige konsekvenser. (<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3>).

I henhold til TEK17 er det ikke spesifisert eksplisitte intensitetskriterier, kun generelle krav om 'skade av betydning' og 'fare for liv og helse'. Disse kravene gjelder også for uteområdene til bygninger. I noen tilfeller er et trykk på 1 kPa benyttet som en referanseverdi.

### 3.12.1 Utkast til Faresoner S1 og S2

Figur 3-17 viser utkast til samlede faresoner i henhold til Sikkerhetsklasse S1 og S2. Faresonekart for området under dagens skogforhold er vist i figuren. Skredfaren er hovedsakelig relatert til skredvind, med en forventet intensitet på mellom 1 og 3 kPa i den vestlige delen av kartleggingsområdet, avtakende mot øst. På grunn av rusk og kvister kan det lokalt oppstå kortvarige trykkspisser med betydelig høyere verdier.



Figur 3-17 Utkast til faresoner S1 og S2 for dagens situasjon i det kartlagte området.

I henhold til sikkerhetsklasse S2 tas det også hensyn til at noe fast masse kan bevege seg sakte inn mot den vestlige kanten av det kartlagte området.

Tette masser fra skred kan føre til flodbølger, men anses som mindre enn forventede bølger under sterk storm i det kartlagte området. Et grovt estimat på initial bølgehøyde kan beregnes i henhold til Naaim (2013), og tilsier en bølgehøyde på 3–4 m ved treff langs kystlinjen, som deretter gradvis dempes før den når det kartlagte området.

### 3.12.2 Avvik fra tidligere skredfareutredninger

Faresonene i notatet *10256462-RIGberg-NOT-001\_rev\_01* fra Multiconsult er sammenlignbare med våre utkast. Imidlertid vurderer vi at faste skredmasser med hastighet over 10 m/s ikke når så langt inn i det kartlagte området som angitt i Multiconsults notat. Vi estimerer også lavere intensitet fra snøskyen i det kartlagte området. Faresonene for S1 ble ikke angitt i notat fra Multiconsult.

### 3.12.3 Mulige tiltak

Uteområdet i det kartlagte området er hovedsakelig utsatt for trykk fra snøskyen, med en nominell årlig sannsynlighet mellom 1/100 og 1/1000. Samtidig er oppholdstiden for personer i området begrenset. Et mulig tiltak er å flytte flåten med kontrollenheten, noe som vil redusere eksponeringen av personer for snøskyen. Oppdrettsbassengene anses som mindre utsatt for direkte påvirkning fra skredet. For å redusere restrisikoen knyttet til flytende faste masser fra skredet, kan det vurderes å flytte anlegget en merderekke ut, dvs slik at ytterste merderekke i dag blir innerste merderekke.

## 4 Referanser

Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L. & Christen, M. (2018) Automated snow avalanche release area delineation --- validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large scale hazard indication mapping 2018. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 18, No. 12 p. 3235-3251

Lied, K. / Bakkehøi, S. (1980) Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters, Journal of Glaciology , Vol. 26, No. 94, p. 165-177

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.

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., Body, N.S. and Aalerud, A.H. What Avalanche observations tell us about the performance of numerical models, in: Proceedings of the International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 8-13 October 2023, 120-127, 2023.

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.

Naaïm, M. (2013) Impulse water waves generated by snow avalanches International Snow Science Workshop Grenoble - Chamonix Mont-Blanc - 2013, 2013

Norges vassdrags- og energidirektorat, "Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng - Utredning av skredfare i reguleringsplan og byggesak." Accessed: Nov. 09, 2022. [Online]. Available: <https://www.nve.no/skredfarekartlegging/>

## Disclaimer

Skredfarevurderingene gjelder så lenge vesentlige endringer i forutsetningene for vurderingene ikke forekommer. (Eksempler på vesentlige endringer er endringer i Plan og Bygningslovens krav, nye opplysninger om historiske eller nyere skred, endringer i klima, terreng eller vegetasjon, anlegg av ny infrastruktur, etc.). Oppdragsgiver må til enhver tid vurdere om forutsetningene er endret, for i så fall å få utført en revidert kartlegging.

# Vedlegg 00

## BESKRIVELSE AV MODELLVERKTØY OG BETYDNING AV SKOG

### Innhold

|                                                                           |          |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>001 Modellbeskrivelser</b>                                             | <b>2</b> |
| 001.1 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av snøskred | 2        |
| <b>002 Betydning av skog for skredfarevurdering</b>                       | <b>8</b> |

## 001 Modellbeskrivelser

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

### 001.1 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av snøskred

Modellene som oftest blir brukt for utløpsberegninger av snøskred i Norge er den topografisk statistiske  $\alpha/\beta$ -modellen<sup>1</sup>, blokkmodellen PCM<sup>2</sup> og strømningsmodellen som RAMMS<sup>3</sup> som beskriver utbredelsen av skredet i to horisontale dimensjoner. Alle disse modellene har sine svakheter, særlig ved beregning av snøsky og kombinerte beregninger av faste masser og skredvind. I det følgende beskriver vi modellen SAMOS-AT som gir bedre muligheter for beskrivelse av snøskya, også i interaksjon med vann. Vurderingene er støttet av statistiske  $\alpha/\beta$ -beregninger.

#### 001.1.1 SAMOS-AT

SAMOS-AT, utviklet i 2007 ved AVL List GmbH i Østerrike, er etterfølgeren av SAMOS, som var i bruk fra 1999<sup>4,5</sup>. En kort beskrivelse av modellen finnes i<sup>6</sup>. Sampl og Granig, mens Sailer m.fl.<sup>7</sup> og Granig m.fl.<sup>8</sup> (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):

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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

<sup>5</sup> Sampl, P. & Zwinger, T. (2004) Avalanche simulation with SAMOS, Annals of Glaciology, Int Glaciological Soc, 2004, 38, 393-398

<sup>6</sup> Sampl, P., og Granig, M. (2009). Avalanche simulation with SAMOS-AT. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop Davos 2009. Sider 519–523

<sup>7</sup> 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

<sup>8</sup> 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  $h$  flytehoýden,  $\mathbf{u} = (u, v)$  den dybdemidlede hastigheten,  $\mathbf{g} = (g_x, g_y, g_z)$  tyngdeakselerasjonen,  $\bar{\sigma}_{xx}$  og  $\bar{\sigma}_{yy}$  de dybdemidlede normalspenningene langs bakken,  $\sigma_{xz}^b$  og  $\sigma_{yz}^b$  skjærspenningene langs bakken,  $\sigma_{xz}^s$  og  $\sigma_{yz}^s$  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:

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

$\tau_0$  er en skjærstyrke i snøen som brukes for små skred for at de skal stoppe tidligere. Faktoren som multipliserer  $\mu$ , 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  $\sigma_{zz}^b$ , 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  $g/\xi$  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  $\sigma^s$ , konsentrasjonsdifferansen mellom det tette laget og snøskya,  $\Delta c$ , 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,  $\eta_{\text{eff}}$ :

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

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

(For enkelthets skyld brukes det tensornotasjon med implisitt summering over like indekser). Turbulens er simulert gjennom  $k$ - $\varepsilon$ -modellen med to ligninger for den turbulente kinetiske energien,  $K$ , og dissipasjonen,  $\varepsilon$ ; 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  $\sigma^s$  og suspenderingsraten  $j^s/\rho_p$  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 middelerverdi 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) tid<sup>9</sup>.

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.

<sup>9</sup> Sampl, P., og Granig, M. (2009). Avalanche simulation with SAMOS-AT. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop Davos 2009. Sider 519–523

- 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.

### 001.1.2 Beregning av skredutbredelse og rekkevidde av tørre snøskred

For snøskred har vi brukt blant annet en Coulomb-friksjons lov kombinert med snø medrivning, ifølge<sup>10</sup>.

$$(\sigma_{xz}^b, \sigma_{yz}^b) = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} \mu \bar{\sigma}_{zz} + \tau + \rho_a C_{Da} U^2$$

Hvor  $\mu$  er den Coulombfriksjon paratmater og  $\tau$  ( $\approx 100$  Pa) reflekterer noe kohesjon. Den siste termen gjenspeiler lav luftmotstand,  $\rho_a$  er tetthet av luft og  $C_D$  er en parameter.

I tillegg inkluderes en maksimal medrivningshøyde  $d_e$ .

Tabell 1-1 parameter som ble brukt i simulasjoner

| $\mu$ (-) | $\tau$ (Pa) | $C_{Da}$ (-) | $d_e$ (m) |
|-----------|-------------|--------------|-----------|
| 0.3       | 100         | 0.01         | 0.25      |

### 001.1.3 Statistisk-empirisk modell ( $\alpha/\beta$ -modellen)

Den statistiske/topografiske  $\alpha/\beta$ -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 1-2.

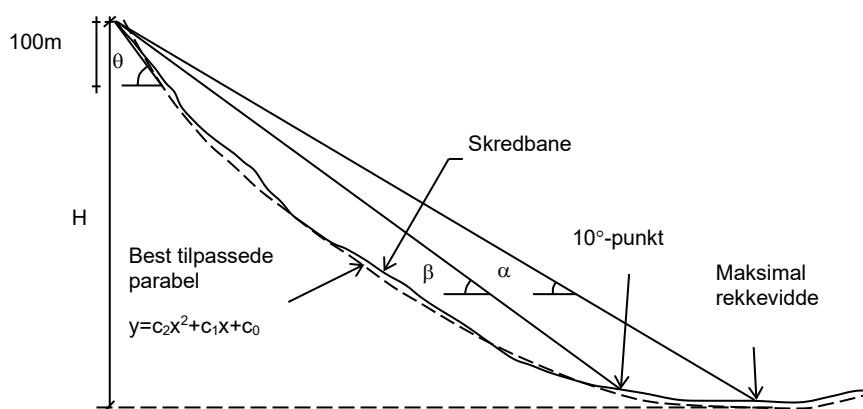
Tabell 1-2 Topografiske parametre for beregning av maksimal utløpsdistanse

| Symbol:            | Parameterbeskrivelse:                                                                                                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\beta$ (grader)   | Gjennomsnittlig helning av skredbanen mellom øvre del av utløsningsområdet og "fjellfoten" (punktet med 10° helning i skredbanen)                                             |
| $\theta$ (grader)  | Helning av de øvre 100 høydemeterne 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                                                                                                                               |

<sup>10</sup> 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

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

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



Figur 1-1: 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  $\alpha$  der skredbanen er jevn parabel, mens de største skredene kan gå lengre.

## 002 Betydning av skog for skredfarevurdering

### 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)."<sup>11</sup>*

*"Areal med minst 6 trær per dekar som er eller kan bli 5 meter høye, og disse bør være jevnt fordelt på arealet."<sup>12</sup>*

*"Produktiv skog: Skog som i årlig gjennomsnitt kan produsere minst 1 m<sup>3</sup> trevirke med bark pr. hektar og år under gunstige bestandsforhold."<sup>13</sup>*

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.<sup>14</sup> 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 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 ubetydelig på lang sikt.

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 2-1 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 m<sup>3</sup> pr. hektar.

Figur 2-2 til Figur 2-6 viser eksempler der skog ikke var tilstrekkelig for å hindre utløsning/utbredelse av skred.

<sup>11</sup> Store Norske Leksjon

<sup>12</sup> Bjørdal, I. & Bjørkelo, K. (2006) AR5 Klassifikasjonssystem, Skog og Landskap, Skog og Landskap, 2006

<sup>13</sup> <https://www.nibio.no/tema/skog/skog-og-miljoinformasjon-fra-landsskogtakseringen/N%C3%B8kkeltall>

<sup>14</sup> 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 2-1 Snøskred i januar 2015 som ødela mer enn 10 hektar bjørkeskog i nærhet av Fåberg, Jostedalen.*



*Figur 2-2 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 2-3 Våtsnøskred i skogområde (bilde: Gallatin National Forest Avalanche Center/J. Watson, 2018).



Figur 2-4 Snøskred i skog. Vegetasjonsforhold på øvre del av skredbanen (bilde fra <sup>15</sup>).

<sup>15</sup> 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 2-5 Utløpsområde til flomskred i skog.*



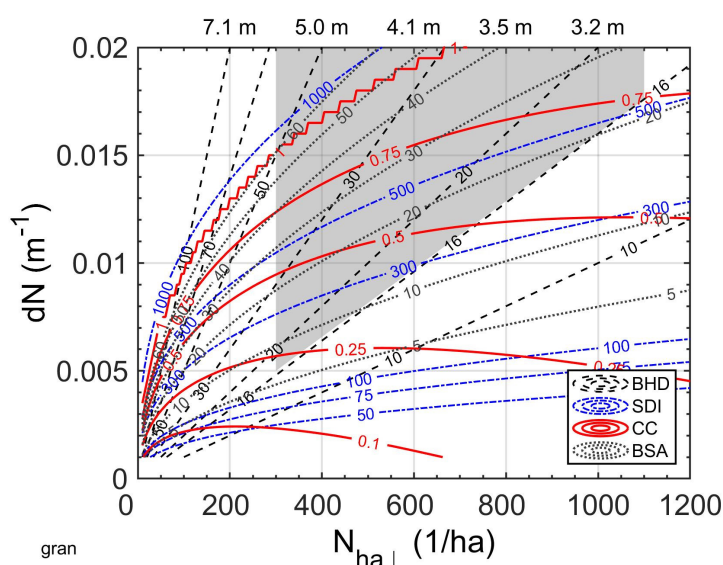
*Figur 2-6 Jordskredbane gjennom skogsområde.*

Først og fremst er effekten av skog bestemt av skogtettheten. En indikator er Reineke's (1933) skogtetthetsindeks (stand density index, SDI, med dimensjon antall trær per hektar). Reineke's (1933) indeks for bestandstetthet (SDI) beskriver det allometriske forholdet mellom antall stammer per hektar,  $N_{ph}$ , og gjennomsnittlig diameter ( $BHD_m$ , in cm).

$$SDI = N_{ph} \times (25/BHD_m)^{-1.605}.$$

SDI gir indeksen til den karakteristiske fordelingen av antall trær og 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 2-7 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 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. 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 2-7 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 Schneebeil<sup>16</sup> 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 m<sup>2</sup> skogareal, så lenge den står, gitt som:

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

<sup>16</sup> Meyer-Grass, M. & Schneebeil, M. (1992) Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schnee- und Schneeverhältnissen. Internationales Symposium Interpraevent 1992-Bern, 1992

hvor:

|          |                                                                                           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F_{as}$ | motstandskraft per $m^2$ [ $N\ m^{-2}$ ]                                                  |
| $d$      | trærs 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]                                                                  |
| $C_D$    | motstandskoeffisient                                                                      |
| Fr       | Froude tall                                                                               |
| $\rho_f$ | skredtetthet [ $kg\ m^{-3}$ ]                                                             |
| $u_f$    | skredhastighet [ $m\ s^{-1}$ ]                                                            |

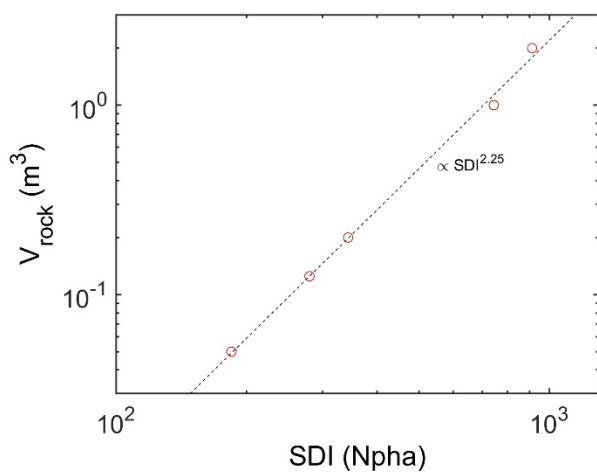
Fra ligning (A4.1) ses betydningen av karakteristikkverdien  $dN$  i Figur 2-7 <sup>17</sup>.

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. Imidlertid gjelder dette først og fremst for mindre blokkvolum, typisk lavere enn  $2\ m^3$  (Figur 2-8). Figur 2-9 gi et estimater av minimum krav for SDI verdier for å ha noen effekt avhengig av blockstørrelse.



*Figur 2-8 Steinspranget stoppet midlertidig skog, men er fortsatt en latent fare i fremtiden når f.e. trær velter.*

<sup>17</sup> 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



Figur 2-9 Minimumstall for dimensjoner på vernskog rel. til blokkstørrelse (adapterte fra NGI 20200078-01-R tabell 11<sup>18</sup>). Vernskog bør være minst 100 m i fallretning.

<sup>18</sup> NGI 20120078-01-R Skog og skred: Forslag til kriterier for Vernskog mot skred - Del 1 2015-03-19  
Norwegian Geotechnical Institute

|                                                                                                                                                                                    |                                                |                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Dokumentinformasjon/Document information</b>                                                                                                                                    |                                                |                                                     |
| <b>Dokumenttittel/Document title</b><br>En uavhengig kontroll av Multiconsults skredvurdering og supplerende vurdering                                                             |                                                | <b>Dokumentnr./Document no.</b><br>20250213-01-TN   |
| <b>Dokumenttype/Type of document</b><br>Teknisk notat / Technical note                                                                                                             | <b>Oppdragsgiver/Client</b><br>LERØY AURORA AS | <b>Dato/Date</b><br>2025-08-12                      |
| <b>Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract</b><br>NGI                                                                     |                                                | <b>Rev.nr. &amp; dato/Rev.no. &amp; date</b><br>0 / |
| <b>Distribusjon/Distribution</b><br>BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees |                                                |                                                     |
| <b>Emneord/Keywords</b><br>skredfarevurdering, snøsky,                                                                                                                             |                                                |                                                     |

|                                                                                   |                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Stedfesting/Geographical information</b>                                       |                                                                 |
| <b>Land, fylke/Country</b><br>Troms                                               | <b>Havområde/Offshore area</b>                                  |
| <b>Kommune/Municipality</b><br>Tromsø                                             | <b>Feltnavn/Field name</b>                                      |
| <b>Sted/Location</b><br>Sessøya                                                   | <b>Sted/Location</b>                                            |
| <b>Kartblad/Map</b><br>1434 II Tussøy                                             | <b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>                          |
| <b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b><br>Sone: UTM 33 Øst: 624254 Nord: 77408378 | <b>Koordinater/Coordinates</b><br>Projeksjon, datum: Øst: Nord: |

| <b>Dokumentkontroll/Document control</b><br>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001 |                                       |                                        |                                                       |                                                        |                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Rev/<br>Rev.                                                                                                            | Revisjonsgrunnlag/Reason for revision | Egenkontroll<br>av/<br>Self review by: | Sidemanns-<br>kontroll av/<br>Colleague<br>review by: | Uavhengig<br>kontroll av/<br>Independent<br>review by: | Tverrfaglig<br>kontroll av/<br>Inter-<br>disciplinary<br>review by: |
| 0                                                                                                                       | Originaldokument                      | 2025-08-11<br>Peter Gauer              | 2025-08-11<br>Kjersti G. Gisnås                       |                                                        |                                                                     |
|                                                                                                                         |                                       |                                        |                                                       |                                                        |                                                                     |
|                                                                                                                         |                                       |                                        |                                                       |                                                        |                                                                     |
|                                                                                                                         |                                       |                                        |                                                       |                                                        |                                                                     |
|                                                                                                                         |                                       |                                        |                                                       |                                                        |                                                                     |
|                                                                                                                         |                                       |                                        |                                                       |                                                        |                                                                     |

|                                                                            |                                     |                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Dokument godkjent for utsendelse/<br/>Document approved for release</b> | <b>Dato/Date</b><br>12. august 2025 | <b>Prosjektleder/Project Manager</b><br>Peter Gauer |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|

NGI – Norges Geotekniske Institutt - er et uavhengig forskningsinstitutt innen geoteknikk og andre ingeniørrettede geofag.

Vi kombinerer geokunnskap og teknologi for å utvikle smarte og bærekraftige løsninger innen infrastruktur på land og til havs, innen miljøteknologi, forurenset grunn og naturfarer som jord- og snøskred. Forskningen vår leverer kunnskap som bidrar til å løse noen av de viktigste utfordringene verden står overfor innenfor klima, miljø, energi og samfunnssikkerhet.

Samfunnsoppgaven vår er å utvikle geofagene og fremskaffe kunnskapsgrunnlaget for å bygge, bo og ferdes på sikker grunn. Dette løser vi ved å la forskning og rådgivning gå "hånd i hånd" og være brobygger mellom akademia, næringsliv og det offentlige.

Vi har kontorer i Norge, USA og Australia og vi har internasjonalt anerkjente laboratorier.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI – The Norwegian Geotechnical Institute – is an independent research centre in the field of geotechnical engineering and the engineering geosciences.

We combine geotechnical knowledge and technology to develop smart and sustainable solutions in infrastructure on land and at sea, in environmental technology, contaminated soil and natural hazards such as landslides and avalanches. Our research provides knowledge that contributes to solve some of the most important challenges the world faces with regards to climate, the environment, energy and societal security.

Our societal mission is to develop the geosciences and produce the knowledge basis to build, live and travel on safe ground. We solve this by combining research and consulting hand-in-hand and being a bridge-builder between academia, industry and the public sector.

We have offices in Norway, the US and Australia, including internationally recognised laboratories.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

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.

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.

