

RAPPORT

Skredfarevurdering av planlagt akvakulturlokalitet i Sykkylven

UTREDNING AV SKRED I BRATT TERRENG FOR
FLYTENDE ANLEGG

DOK.NR. 20240322-01-R
REV.NR. 0 / 2024-05-29

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.



Prosjekt

Prosjekttittel: Skredfarevurdering av planlagt akvakulturlokalitet i Sykkylven
Dokumenttittel: Utredning av skred i bratt terreng for flytende anlegg
Dokumentnr.: 20240322-01-R
Dato: 2024-05-29
Rev.nr. / Rev.dato: 0/

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Mowi ASA
Kontaktperson: Arne Kvalvik
Kontraktreferanse: Oppdragsbekreftelse signert 23.05.2024

for NGI

Prosjektleder: Elise Morken
Utarbeidet av: Elise Morken, Frode Sandersen
Kontrollert av: Peter Gauer

Om oppdraget

Oppdragsgiver:	Mowi ASA
Utførende foretak:	NGI
Skredfareutredning for:	Planlagt plassering av ny akvakulturlokalitet
Følgende tiltak og sikkerhetsklasse(r) er planlagt på eiendommen/planområdet:	Skredfareutredning for sikkerhetsklasser S1 (1/100) og S2 (1/1000)) for dagens tilstand
Befaring gjennomført, eventuelt hvorfor ikke:	Befaring er ikke gjennomført da vi vurderer at planlagt plassering av anleggene har tilstrekkelig avstand til land
Befaring gjennomført av og når:	-

Sammendrag

Skredfare i bratt terreng for planlagt plassering av ny akvakulturlokalitet på Gjeveneset i Sykkylven kommune er utredet av NGI på oppdrag fra Mowi ASA. Skredtypene snø-, jord-, flom- sørpe-, steinskred og steinsprang er vurdert. Skredfare er utredet med hensyn til dagens vegetasjonsforhold.

Fjellsiden i påvirkningsområdet er utsatt for steinsprang og snøskred. Planlagt plassering av ny akvakulturlokalitet (oppdrettsanlegg og fôrflåte) ligger derimot på det nærmeste ca. 160 m fra land. NGI vurderer denne avstanden som tilstrekkelig til at planlagt plassering av anleggene ligger i trygg avstand fra skredutsatt terreng og at oppdrettsanlegg og fôrflåte tilfredsstiller sikkerhetskravene for S2 i TEK17.

Innhold

1	Innledning	7
1.1	Forbehold	8
2	Områdebeskrivelse	9
2.1	Terreng og dreneringsforhold	9
2.2	Grunnforhold	12
2.3	Klimaanalyse	15
2.4	Historiske skredhendelser	17
2.5	Tidligere utredninger/kartlegginger i området	17
2.6	Eksisterende sikringstiltak	18
3	Skredfareutredning per skredtype	18
3.1	Steinsprang	18
3.2	Steinskred	19
3.3	Snøskred	19
3.4	Jordskred	22
3.5	Flomskred	22
3.6	Sørpeskred	22
3.7	Hva er den samlede skredfaren?	22
3.8	Avvik fra tidligere skredfareutredninger	22
4	Innledende vurdering av fare for flodbølge	23
5	Referanser	24

Vedlegg

Vedlegg A	Metodikk
Vedlegg B	Helningskart
Vedlegg C	Registreringskart
Vedlegg D	Modellbeskrivelse

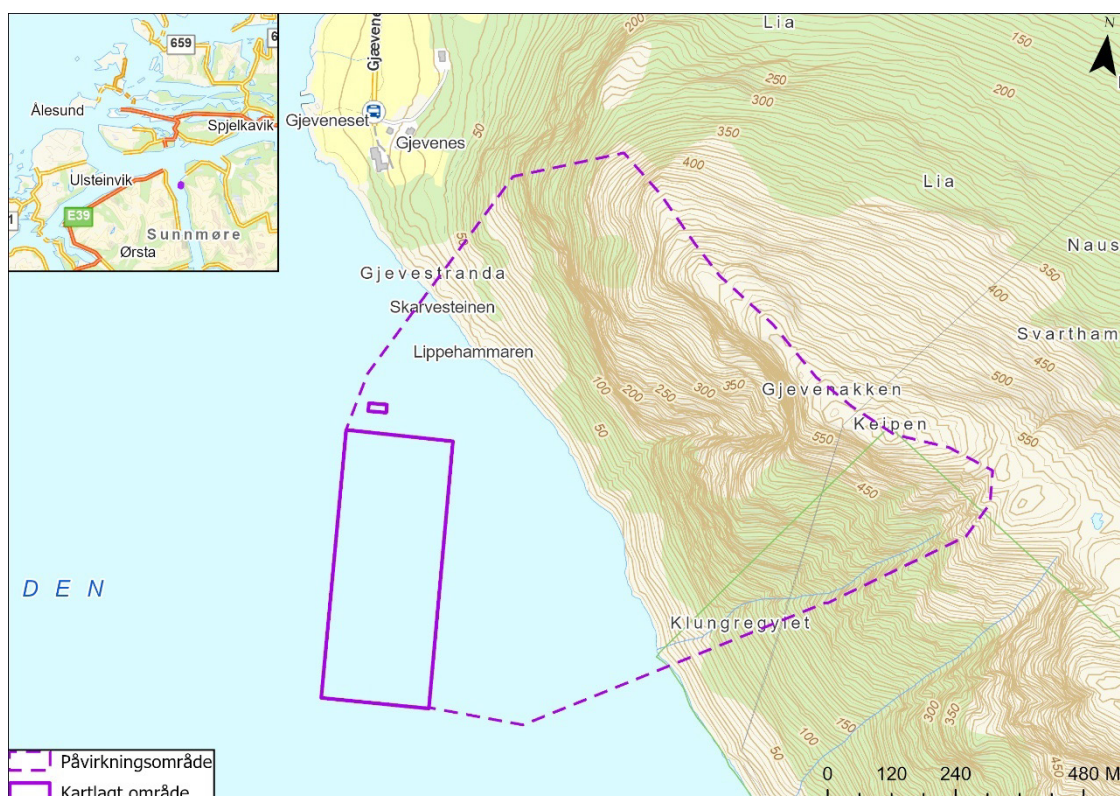
Kontroll- og referanseside

Egenerklæringsskjema

1 Innledning

NGI har på oppdrag fra Mowi ASA vurdert skredfare av planlagt plassering av ny akvakulturlokalitet på Gjeveneset i Sykkylven kommune. Anleggene består av et oppdrettsanlegg med tilhørende forflåte (Figur 1-1). Anleggene er forankret med liner hvor forankringspunktene er fundamentert under vann. Forankringspunktene og linene er ikke inkludert i skredfarevurderingen. Anleggene skal tilfredsstillе kravene i sikkerhetsklasse S2 (TEK 17) og vurderes iht. NVEs veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. Sikkerhetsklasse S2 krever at anleggene plasseres i et område med lavere nominell årlig sannsynlighet enn 1/1000.

Bakgrunnen for henvendelsen er at deler av anleggene ligger innenfor aktsomhetszone for snøskred. Det kreves derfor en utredning av faren for skred i bratt terreng for å avklare hvorvidt lokaliteten tilfredsstiller sikkerhetskravet for skred mot bebyggelse beskrevet i TEK17. Aktsomhetskartet viser områder med mulig skredfare, men er basert på automatiske analyser på en grov terrengmodell med konservative utløpsberegninger, og vil derfor ikke svare ut den reelle skredfaren. En detaljert vurdering av de faktiske forhold er derfor nødvendig. Se Vedlegg A for beskrivelse av metodikk.



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

1.1 Forbehold

Skredfareutredningen for dagens situasjon tar utgangspunkt i sikrings-, terreng-, klima- og vegetasjonsforholdene som er aktuelle på utredningstidspunktet, og benytter den metodikk, kunnskap og verktøy som er tilgjengelig. Dette er forutsetningene for vurderingene som blir gjort.

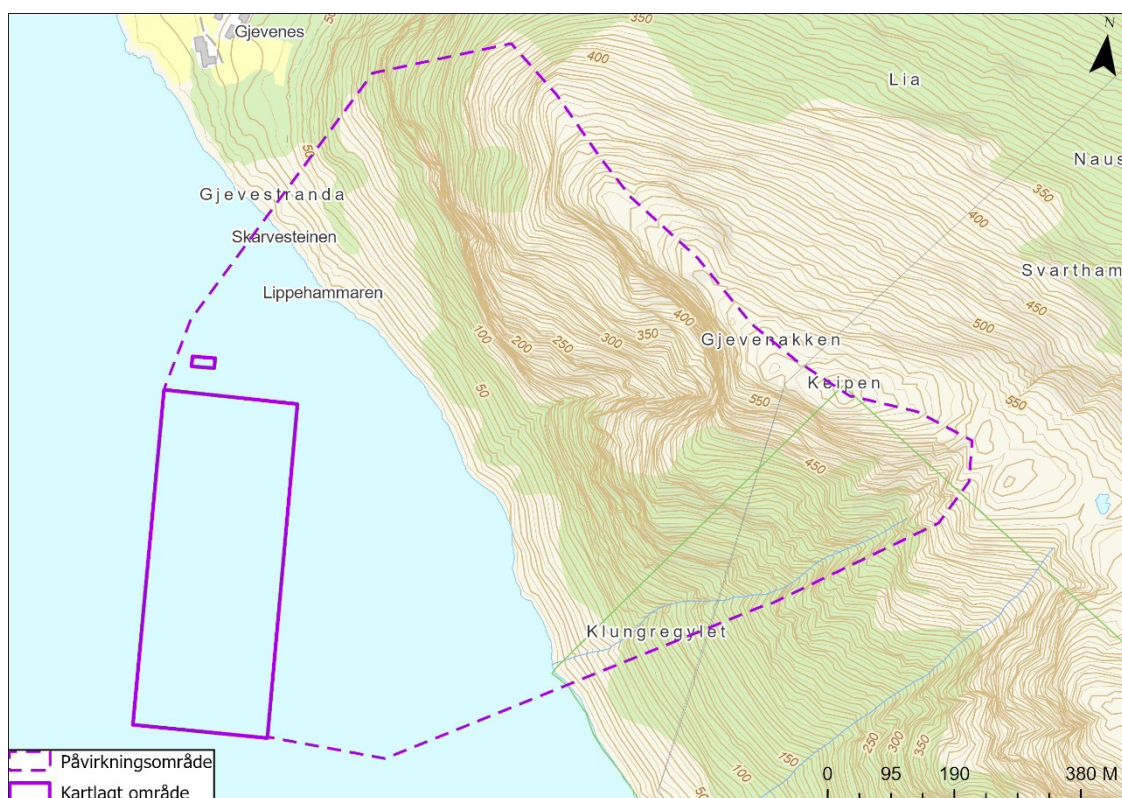
Dersom disse forutsetningene endres, kan selve vurderingene av skredfaren også endres, og det kan være behov for å utføre en ny skredfareutredning.

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 eller endrede hydrologiske forhold, for eksempel avskjærende grøfter, veger osv.
- Ny metodikk er blitt tilgjengelig, inkludert ny metodikk for å vurdere effekt av klimaendring på skredfare.

2 Områdebeskrivelse

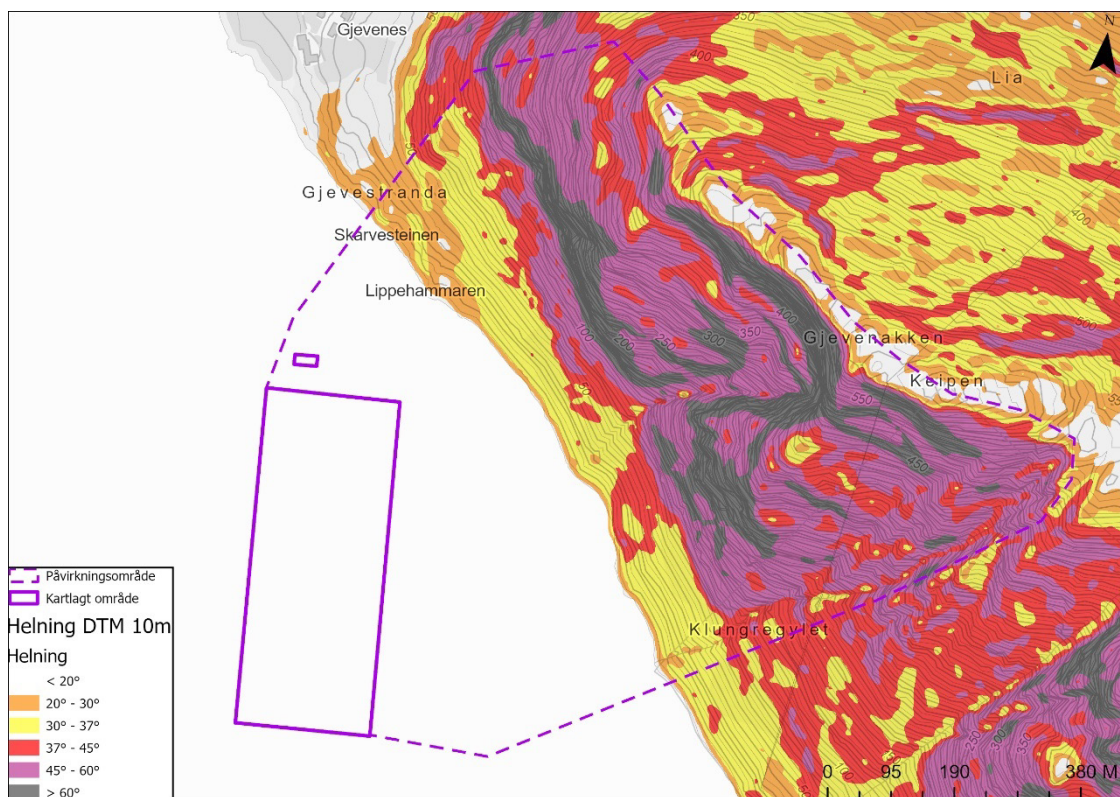
Planlagt plassering av oppdrettsanlegget og forflåte er sørvest for Gjeveneset (Figur 2-1). Avstanden mellom selve oppdrettsanlegget og forflåten er ca. 40 m. Oppdrettsanlegget ligger på det nærmeste ca. 160 m fra land. Forflåten ligger ca. 180 m fra land, vest for en vestvendt fjellside opp mot Gjevenakken og Keipen (629 moh.). Anleggene er forankret med liner hvor forankringspunktene er fundamentert under vann. Forankringspunkter og liner er ikke inkludert i skredfarevurderingen.



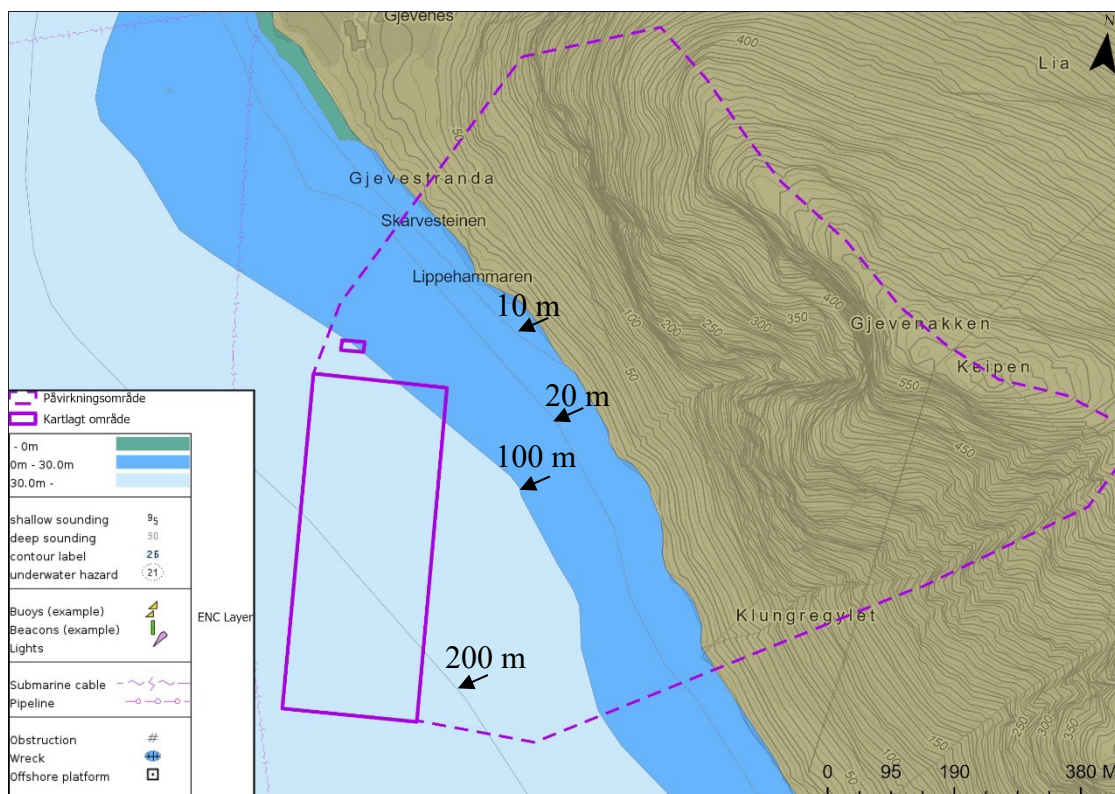
Figur 2-1 Oversikt over kartlagte områder med tilhørende påvirkningsområde. Det nordligste kartleggingsområdet er forflåten mens selve oppdrettsanlegget ligger ca. 40 m sør.

2.1 Terreng og dreneringsforhold

Anleggene ligger sør for Hundeid, vest for en ca. 600 m høy og bratt vestvendt fjellside (Figur 2-2). Under vann går terrenget videre bratt nedover (Figur 2-3). Fjorden er 100 m dyp der forflåten er planlagt plassert samt deler av oppdrettsanlegget.

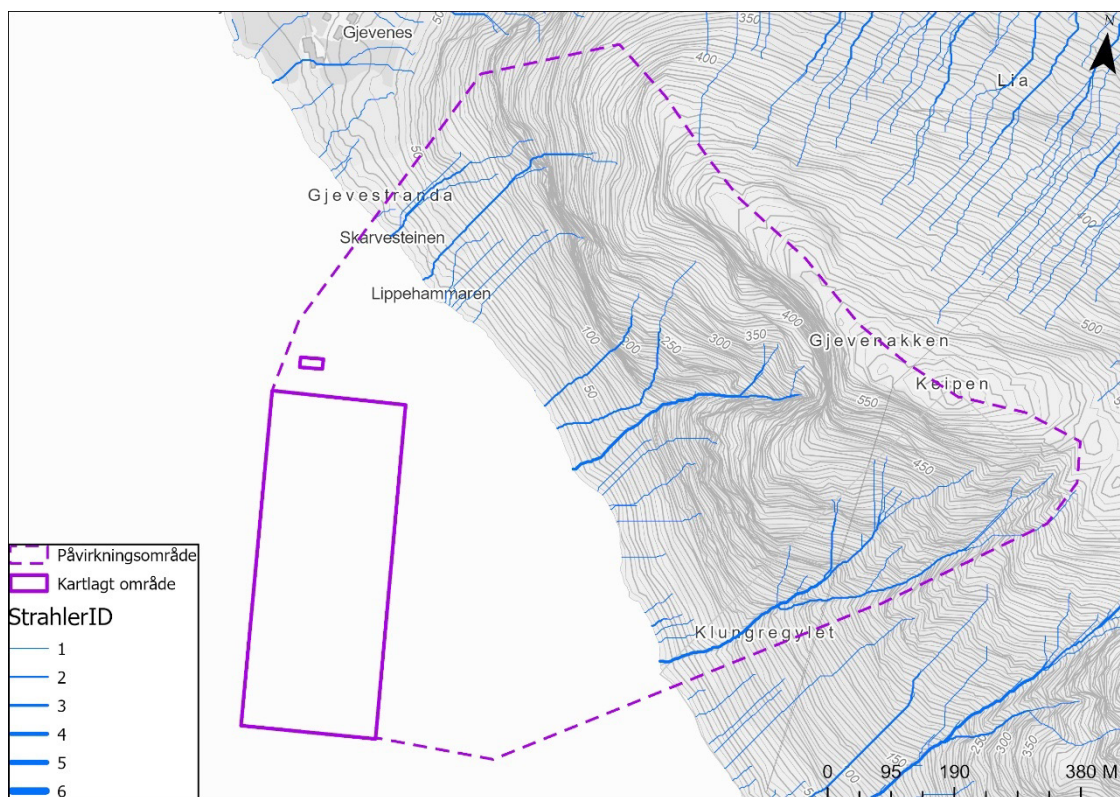


Figur 2-2 Oversikt over terrenghelning i området. Kart med høyere oppløsning er vist i Vedlegg B.



Figur 2-3 Sjøkart med koter. Gjengitt med tillatelse fra Statens kartverk, Sjøkartverket, lisensnr NO 30/072020/1.

Dreneringsanalyser fra området viser at det er enkelte raviner med potensiale for større vannføring, men tilhørende nedbørsfelt er lite (Figur 2-4).

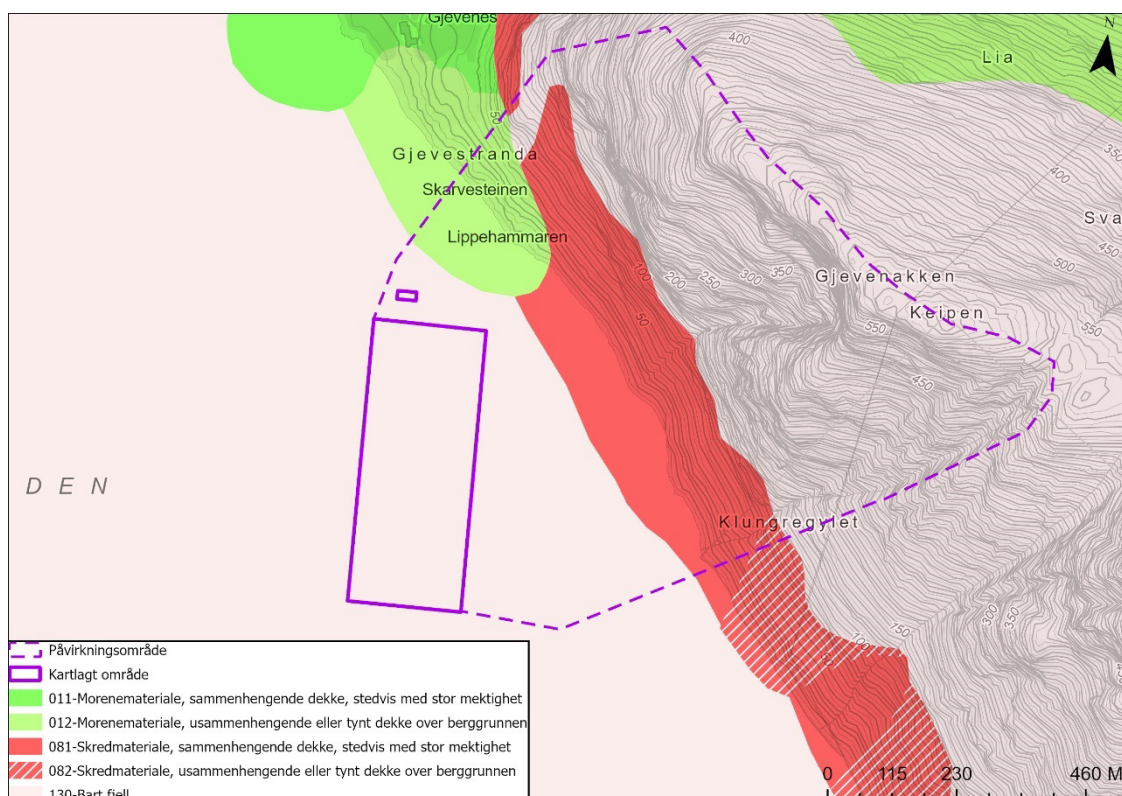


Figur 2-4 Oversikt over dreneringsforhold i området.

2.2 Grunnforhold

2.2.1 Løsmasser

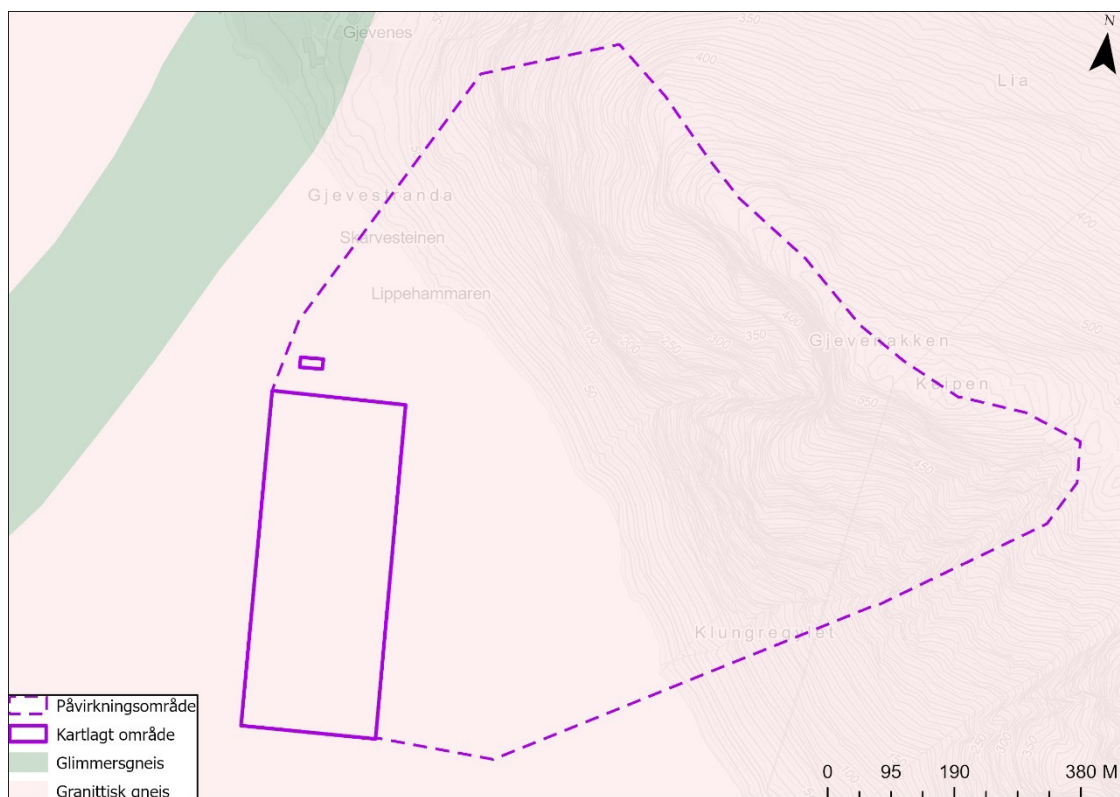
Påvirkningsområdet er bratt med begrenset potensiale for avlagring av løsmasser. Tilgjengelige løsmasser består av skredmateriale og morenemateriale (Figur 2-5). Skredmaterialene kommer hovedsakelig fra steinsprang (se registreringskart i Vedlegg C for detaljer).



Figur 2-5 Oversikt over løsmasser i området. Påvirkningsområdet består hovedsakelig av bart fjell og skredavsetninger (NGU, 2024a).

2.2.2 Berggrunn

Hovedbergarten i påvirkningsområdet er granittisk gneis (Figur 2-6). Granittisk gneis er en omdannet hard bergart med typisk lav oppsprekkingsgrad. Vest for kartleggingsområdet er det et belte bestående av glimmergneis.



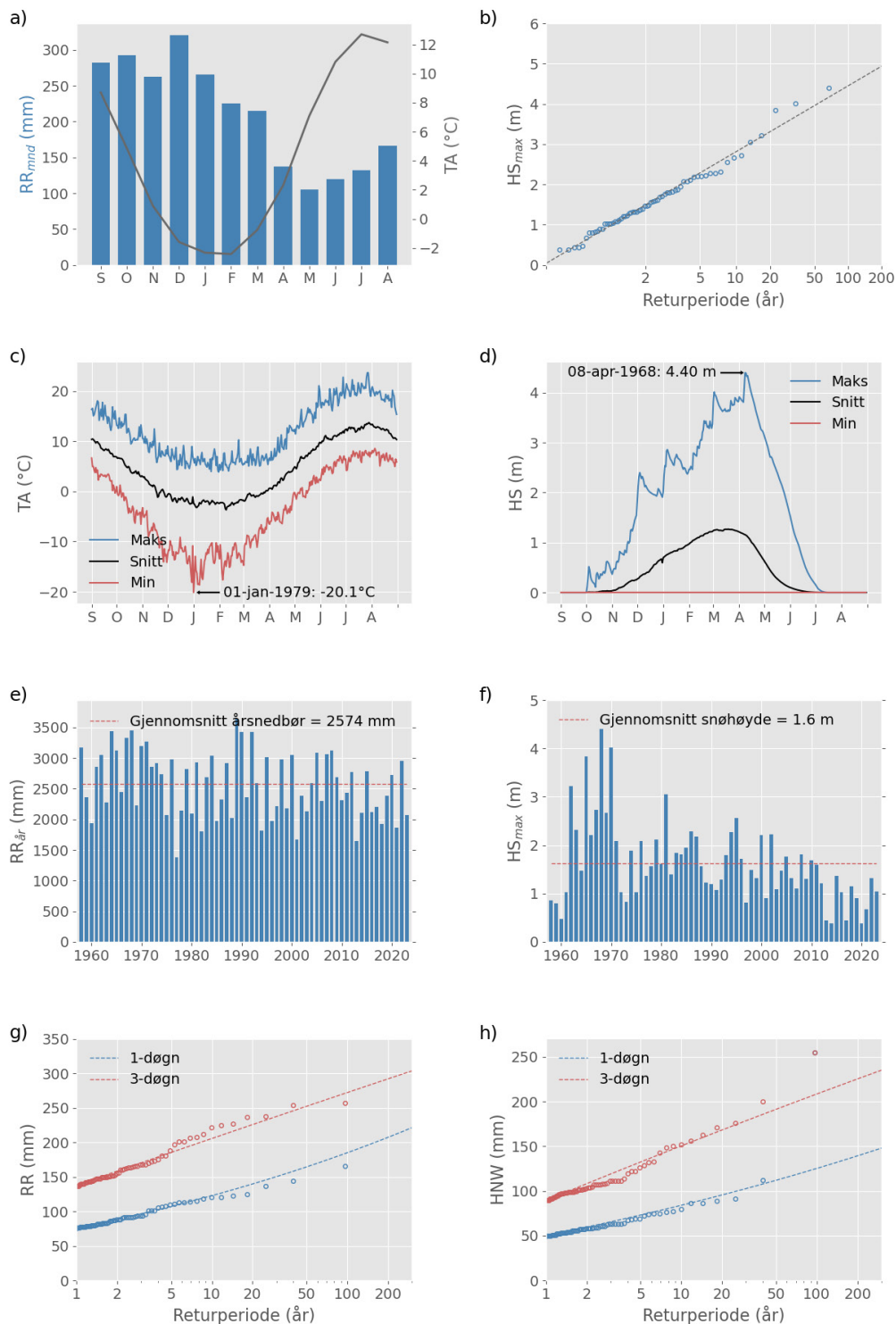
Figur 2-6 Oversikt over berggrunnen i området (1:50 000). Påvirkningsområdet består av granittisk gneis (NGU, 2024b).

2.3 Klimaanalyse

Interpolerte klimadata fra SeNorge-datasettet (Lussana et al., 2016; Saloranta, 2014) for normalperioden 1991 - 2020 viser at normal årsnedbør i det undersøkte området er ca. 2548 mm, hvor ca. 858 mm kommer om vinteren (DJF) (Figur 2-7). Årsmiddeltemperatur i området er 4.6 °C og døgnmiddeltemperaturen varierer normalt fra -12.0 °C til 18.8 °C. Gjennomsnittlig årsmaksimal snøhøyde er 156 cm og maksimal snøhøyde siste 60 år er 440 cm.

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 3.2 meter, og 1000-års nedbør 114 mm/-døgn (basert på datasett fra Dyrddal). Dette er estimater basert på korte observasjonsperioder og statistiske usikkerheter.

Klimafremskrivinger (Hanssen-Bauer et al., 2015) for Norges fastland frem mot år 2100 viser at man kan forvente en økning i nedbørmengdene på mellom 6 % (scenario 1, RCP 4.5) og 11 % (scenario 2, RCP 8.5). Endringen om vinteren er henholdsvis -2 % og 3 % for de to scenariene. Temperaturen vil øke med mellom 2.3 °C og 3.6 °C. Dette har også en effekt på snødekket, som er forventet å minke med mellom 68 % og 89 %. Antall dager med snø på bakken er forventet å reduseres med henholdsvis 65 og 79 dager for de to scenariene. Endringene er relativt til referanseperioden 1971-2000. Høyde på valgt gridcelle er 393 moh.



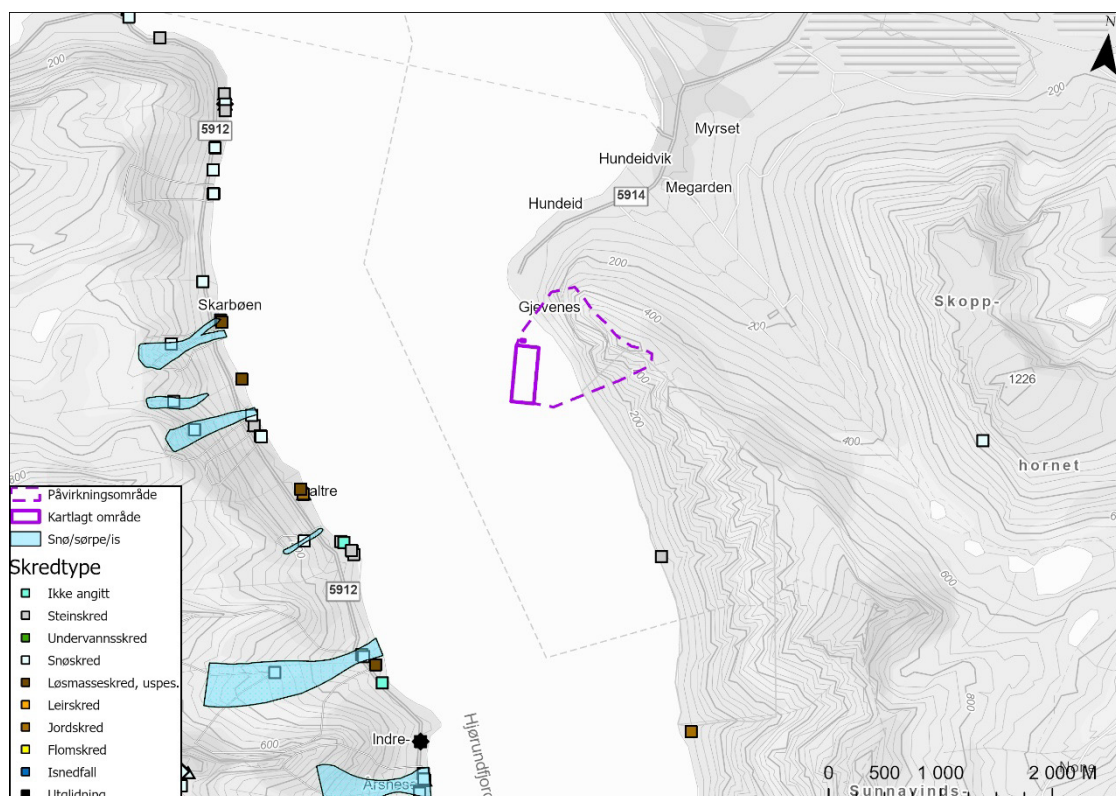
UTM33 56734E, 6943276N, 393moh

Figur 2-7 a) Månedsnedbør og –lufttemperatur, b) returverdier (gumbelfordeling) for årlig maks snøhøyde. Daglig minimum, maksimum og gjennomsnittlig lufttemperatur (c) og snøhøyde (d). Tidsserier av årsnedbør (e) og årlig maks snøhøyde (f). Returverdier (peak over threshold) for 1- og 3-døgns nedbør (g) og nysnøtilvekst (h). Dataperiode: 1958 – dagens dato. Gjennomsnitt er beregnet over hele perioden.

2.4 Historiske skredhendelser

Det finnes ingen registrerte skredhendelser i NVEs skreddatabase (atlas.nve.no) i påvirkningsområdet. Mangelen på registreringer er trolig grunnet lite ferdsel da det ikke er noen form for trafikk eller annen gjennomferdsel i området. Spor etter skred i terrenget er derimot synlig på historiske flybilder og skyggekart slik at det er rimelig å anta at skred forekommer relativt hyppig. Trolig er steinsprang og snøskred mest aktuelle skredtyper.

Det er derimot flere skredregistreringer langs vestsiden av fjorden samt et par registreringer sør for kartleggingsområdene som tilsier en høyere skredhyppighet (Figur 2-8). Sør for kartleggingsområdet er det registrert to steinskred fra 16- og 1800-tallet. Det er ikke registrert bevegelse av betydning i fjellsiden øst for kartleggingsområdet som tilsier at tilsvarende hendelser vil oppstå i området.



Figur 2-8 Oversikt over registrerte skredhendelser i området.

2.5 Tidligere utredninger/kartlegginger i området

NGI kjenner ikke til tidligere utredninger/kartlegginger i området relatert til skredfare i bratt terreng.

2.6 Eksisterende sikringstiltak

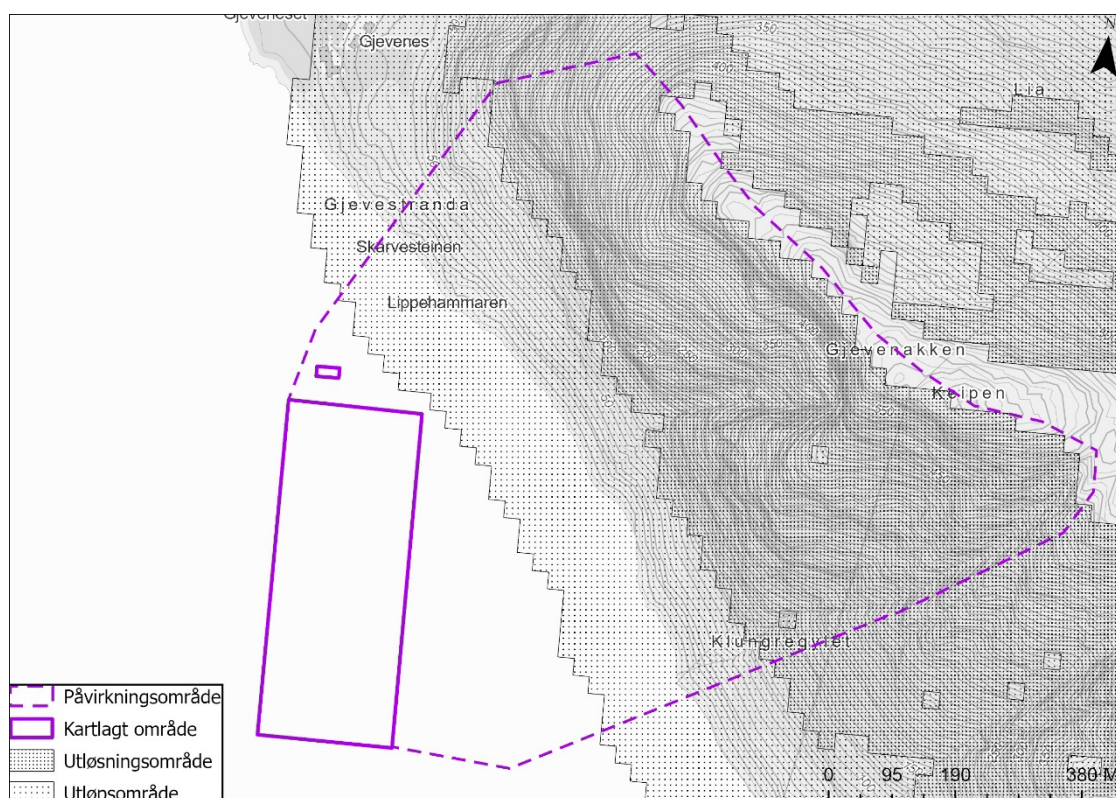
Det er ingen kjente sikringstiltak mot skred i det aktuelle området.

3 Skredfareutredning per skredtype

3.1 Steinsprang

3.1.1 Er steinsprang en aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Det er partier over 45° i påvirkningsområdet og NVEs aktsomhetskart for steinsprang viser at terrenget er tilstrekkelig bratt til at steinsprang kan utløses (Figur 3-1). Det er stedvis stor mektighet av steinsprangavsetninger (urer) ned mot sjøen (se registreringskart i Vedlegg C for detaljer). Tilgjengelig kartgrunnlag og skredavsetninger bekrefter at det finnes løsneområder med høy løsnestannsynlighet i området. Det går trolig årlige steinsprang i fjellsiden.



Figur 3-1 Aktsomhetsområder for steinsprang i området.

Planlagt plassering av ny akvakulturlokalitet har derimot tilstrekkelig avstand fra land til å være utsatt for steinsprang (> 160 m). I tillegg er det få bergflater i påvirkningsområdet hvor steinsprang kan sprette videre fra, og vi antar at flogstein med ekstreme utløp er svært lite sannsynlig, lavere enn lovkravet (sikkerhetsklasse S2) for sikkerhet

mot skred. Videre er terrenghelningen bratt også under vann og fjorden er mellom 100 – 200 m dyp hvor anlegget nærmest land er planlagt. Steinsprang som går i sjøen vil derfor ikke nå anleggene. Vi vurderer derfor at planlagt plassering ligger med trygg avstand fra steinsprang.

Installasjoner som bla. forankringspunkt og liner som ligger nærmere land er ikke vurdert mht. skredfare. Det bør derimot tas hensyn til at steinsprang kan ødelegge installasjoner som ligger nærme/på land da det er høy steinsprangaktivitet i skråningen.

3.2 Steinskred

3.2.1 Er steinskred en aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Ut ifra detaljert terrengmodell er det ikke identifisert potensielle utløsningsområder for steinskred innenfor vurdert påvirkningsområde. InSAR-data fra NGU viser ingen tegn til bevegelse av betydning i området rundt kartleggingsområdet. Det er heller ingen tegn til strukturer som muliggjør utløsning av steinskred fra slakere terreng. Fare for steinskred utredes derfor ikke videre.

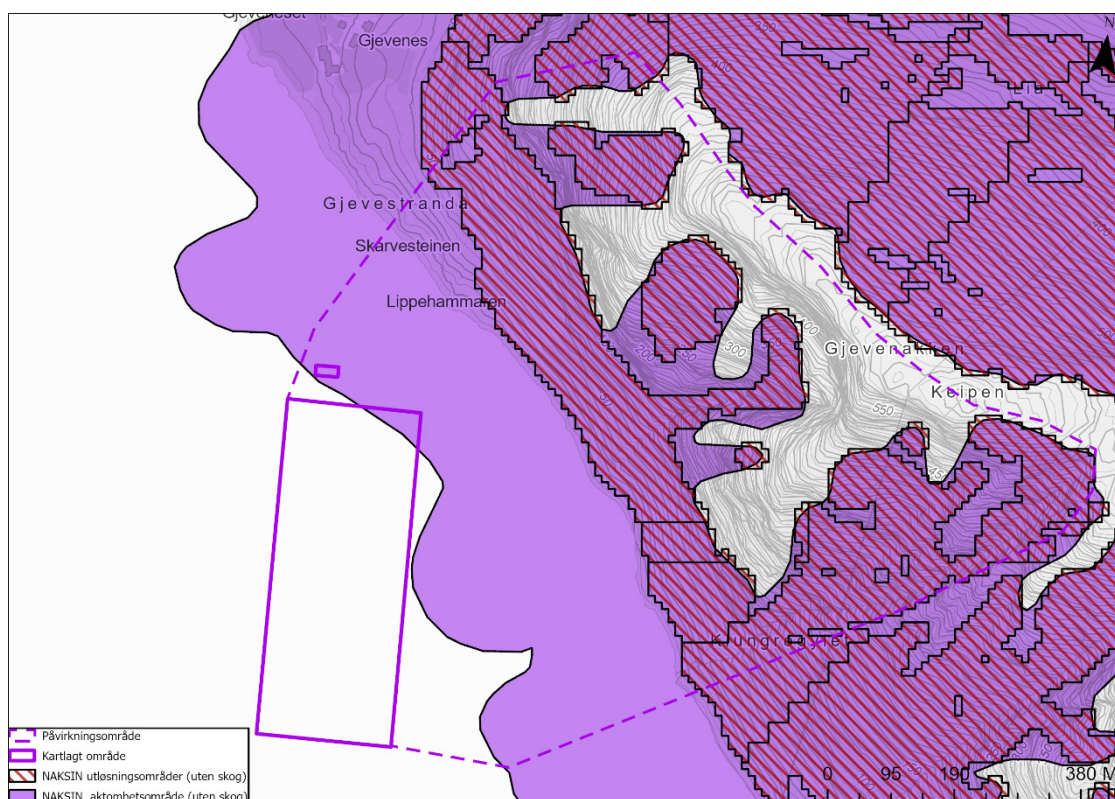
3.3 Snøskred

3.3.1 Er snøskred en aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Deler av fjellsiden innenfor påvirkningsområdet er brattere enn 27 – 30°, som vil si at snøskred må utredes.

3.3.2 Utredning av løsneområder og løsnessannsynlighet

Aktsomhetsområder for snøskred S1 og S2 viser at det er potensielle løsne- og utløpsområder i påvirkningsområdet (Figur 3-2). Milde vintertemperaturer, samt mildværsperioder med ujevne mellomrom, bidrar derimot til å redusere sannsynligheten for utløsning av store, tørre skred med tilhørende snøsky. Fjellsiden er bratt og ruglete med avtrappede områder som begrenser størrelsen på løsneområdene. Trolig blir det utløst mindre snøskred i fjellsiden med nominell årlig sannsynlighet betydelig større enn 1/100.



Figur 3-2 Aktsomhetsområder for snøskred S1 og S2 beregnet uten hensyn til skog.

3.3.3 Utredning av utløp

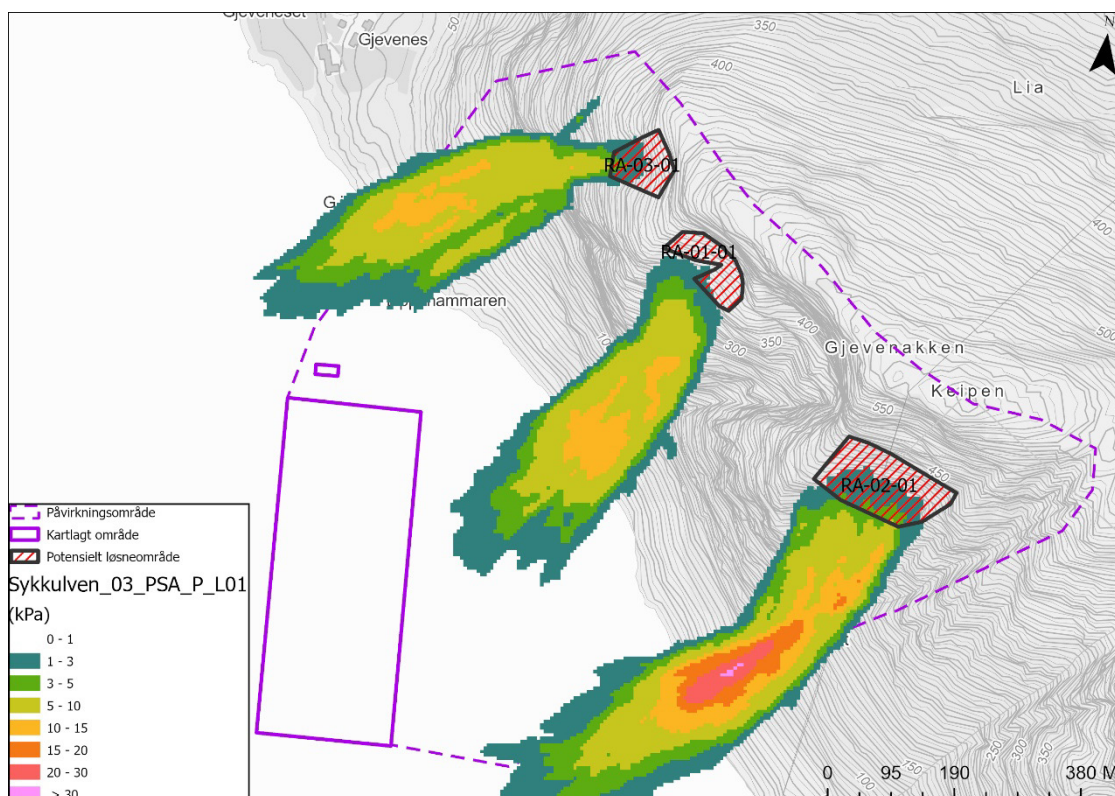
Utløpslengdene vist i aktsomhetskartet er vurdert å være konservative. Aktsomhetskartet vurderer vann/fjorder som en flate, og tar ikke høyde for oppbremsingen som oppstår ved åpen sjø. Vi har ikke avdekket registreringer av perioder med islagt fjord ved det aktuelle området. Eventuelle snøskred vil dermed ikke få lange utløp ved isfri fjord.

Klimaanalyser samt størrelse på løsne- og tilfangstområder for snø tilsier en lav sannsynlighet for store snøskred med lange utløp. Trolig er det vanligst at det går hyppige og små skred (relativ størrelse $\leq R3$) i forbindelse med mildværsinnslag. Likevel kan sjeldne, store snøskred med en snøsky ikke helt utelukkes. Skredvind fra tørre snøskred har typisk lenger rekkevidde enn tette deler av snøskred. Modellering av snøsky er utført for utvalgte løsneområder (Tabell 3-1, Figur 3-3, se også Vedlegg D for modellbeskrivelse). I modellen er bremseeffekten av utløp i vann tatt i betraktning når den tette delen av skredet treffer vannoverflaten.

Simuleringene indikerer derimot at avstanden mellom kartleggingsområdene og fjellsiden er tilstrekkelig lang til å ligge utenfor skredfare. Trykkeffekten ved kartleggingsområdet vil i tillegg trolig være mindre enn 1 kPa.

Tabell 3-1 Parametere for modellkjøring av snøsky.

Utløsnings- område	Gjennomsnittlig helning (°)	Brudd- høyde (m)	Projisert grunn- areal (ha _⊥)	Masse per kvadratmeter (projisert) (kg m ⁻²)	Kommentar
RA-01-01	43	1.5	0.62	412	I le av vind fra NØ, under bratt skråning
RA-02-01	46	1.5	1.57	433	I le av vind fra Ø retninger, under bratt skråning
RA-03-01	46	1.5	0.61	436	Liten skålform i le av vind fra Ø retninger.



Figur 3-3 Modellerte trykk fra skredvind.

NGI vurderer de kartlagte objektene som ikke utsatt for snøskred med planlagt plassering. Avstanden til land (> 160 m) er tilstrekkelig lang mht. både tørre- og våte snøskred.

3.4 Jordskred

3.4.1 Er jordskred en aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Anleggene ligger med tilstrekkelig avstand fra land (> 160 m) slik at jordskred ikke vil påvirke anlegget direkte. Jordskred vurderes derfor å ikke være en fare for anleggene og utredes ikke videre.

3.5 Flomskred

3.5.1 Er flomskred en aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Det er flere raviner i påvirkningsområdet som kan være utsatt for flomskred. Anleggene ligger derimot med tilstrekkelig avstand fra land (> 160 m) slik at flomskred ikke vil påvirke anlegget. Flomskred vurderes derfor å ikke være en fare for anleggene og utredes ikke videre.

3.6 Sørpeskred

3.6.1 Er sørpeskred en aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Anleggene ligger med tilstrekkelig avstand fra land (> 160 m) slik at sørpeskred ikke vil påvirke anlegget. Sørpeskred vurderes derfor å ikke være en fare for anleggene og utredes ikke videre.

3.7 Hva er den samlede skredfaren?

NGI vurderer planlagt plassering til å ha tilstrekkelig avstand fra land til å ikke være utsatt for skredfare. Faresoner er derfor ikke utarbeidet.

3.8 Avvik fra tidligere skredfareutredninger

NGI er ikke kjent med tidligere skredfareutredninger fra området.

4 Innledende vurdering av fare for flodbølge

Det er ikke fare for skred fra fjellsiden i overkant av kartleggingsområdet som kan bli tilstrekkelig store til å forårsake en flodbølge mot kartleggingsområdet.

I Hjørundfjorden og fjordene innenfor er det fare for flodbølger som følge av fjellskred fra Åkneset og Hegguraksla. NGI har tidligere utført beregninger av oppskyllingshøyder for Hjørundfjorden (NGI, 2010). Beregnede oppskyllingshøyder ved Hundeid er beregnet til å kunne bli opp mot 2 m. Rapporten inkluderer ikke bølgehøyder og hastigheter. En risikoanalyse av varslet fjellskred i Åknes er nærmere beskrevet av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB, 2016).

5 Referanser

DSB (2016): <https://www.dsbinfo.no/DSBno/2016/Tema/krisescenarieroaaknes>

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.

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

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

Margreth, S. (2019) Lawinengefahrenkarten in der Schweiz - Avalanche hazard maps in Switzerland, Wildbach und Lawinenverbau, 2019, 83, 80-92.

NGI (2015) Skog og skred: Forslag til kriterier for vernskog mot skred. Rapport 20120078-01-R. Oslo: Norges geotekniske institutt.

NGI (2010) Numerical simulations of tsunamis from potential and historical rock slides in Storfjorden; Hazard zoning and comparison with 3D laboratory experiments. NGI-rapport 20051018-1-R.

NGU (2024a) Løsmasser – Nasjonal løsmassedatabase. Hentet fra: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/ [02.05.2024].

NGU (2024b) Berggrunn – Nasjonal berggrunnsdatabase. Hentet fra: https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/ [02.05.2024].

NIBIO (2022): <https://www.nibio.no/tema/skog/kart-over-skogressurser/skogressurskart-sr16>

NVE (2020) Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. [versjonsdato 12.11.2020]. <https://veileder-skredfareutredning-bratt-terreng.nve.no/>

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

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 A

METODIKK

Innhold

A1	Metodikk	2
1.1	Kartlegging av historiske skredhendelser	3
1.2	Bruk av digitale terrengmodeller (DTM)	3
1.3	Andre datakilder benyttet i vurderingen	4
1.4	Registreringskart	4
1.5	Modellering av skred	4
1.6	Vurdering av skog	5

A1 Metodikk

Denne utredningen følger NVEs veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng – Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak (versjon av 2024/04/24). Skredtypene snø-, jord-, flom- sørpe-, steinskrud og steinsprang er utredet. Utredning av faresoner for kvikkeleireskrud og fjellskrud er ikke en del av denne kartleggingen.

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

- Terreng (helning, eksponering)
- Grunnforhold
- Vegetasjon (bunndekke, tetthet av skog)
- Nedbør (frekvens, mengde, snø eller regn)
- Vindens innflytelse (drivsnøavlagring, intensitet av pålasting, eller skavl-oppbygning)
- Snødekkeegenskaper (maritimt - kontinentalt klima)
- Utløpslengde for skrud eller steinsprang

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

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

der P_R betegner 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). Høyere ønsket sikkerhetsnivå (minkende nominell årlig sannsynlighet), betinger at mer uvanlige scenarier må vurderes. Resulterende dimensjonerende skrud vil da også bli større, og/eller få lengre utløp.

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

I områder som kan utsettes for flere typer skrud er det den samlede nominelle årlige sannsynligheten for skrud som skal legges til grunn. Faresoner for den samlede skredfare fastsettes ut fra skredtype med lengst skredrekkevidde (dimensjonerende skredtype) for henholdsvis 100-, 1000-, og 5000-årsskrud, og er utarbeidet i henhold til sikkerhetskravene i TEK17. Alle faresoner har en iboende usikkerhet. En kort diskusjon av usikkerhet som kan relateres til faresoner finnes i Gauer & Kristensen (2022, 2023).

1.1 Kartlegging av historiske skredhendelser

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

I NVEs skreddatabase NSDB finnes det ingen registrerte hendelser innenfor det aktuelle påvirkningsområdet. Det lave antallet registrerte hendelser skyldes at det ikke bebyggelse eller annen infrastruktur i området. Basert på terrenghelningen og mengden skredmateriale i området antar vi at skredhyppigheten er langt høyere enn antall registrerte hendelser tilsier.

Følgende kilder er benyttet ved kartlegging av tidligere skredhendelser:

- [NVEs nasjonale skreddatabase \(NSDB\)](#)
- [Vegkart av Statens vegvesen \(for supplerende informasjon om relevante hendelser\)](#)

NGUs detaljerte kvartærgeologiske kartlegging med fokus på skredavsetninger og morfologi av skred er dessverre ikke utført for prosjektområdet.

1.2 Bruk av digitale terrengmodeller (DTM)

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

Som grunnlag for terrenganalyser i denne rapporten er det benyttet nasjonal høydemodell 1 m oppløsning. Terrengmodellen er laget basert på LiDAR data fra siste oppdatering. Detaljerte helning- og skyggekart er generert på bakgrunn fra terrengmodellen, og benyttet i videre analyser. Skyggekart gir et relieffkart av terrenget som anvendes for geomorfologisk kartlegging, for å identifisere urer, løsmassevifter, andre skredavsetninger, og avgrense skredbaner, løsneområder, osv.

Helningskart benyttes til å identifisere mulige løsneområder for ulike skredtyper. Helningskart for hvert område er gitt i Vedlegg B og disse er basert på DTM 10 m, da dette er mest hensiktsmessig for målestokken kartene er produsert i. Helningskartet er delt inn i følgende klasser: i) 20° til 30°, ii) 30° til 37°, iii) 37° til 45°, iv) 45° til 60° og v) over 60°. Inndelingen er gjort for å dekke ulike løsneområder for skred, ettersom snøskred gjerne løsner fra terrenghelninger fra 25 til 55°, steinskrud og steinsprang fra helninger > 45°, og jordskrud fra terrenghelning mellom 20 og 45°. For sørpeskrud vurderes alle skråninger med helning >10° og for flomskrud bekkeløp med helning > 15°. Løsneområder er for øvrig ikke kun avhengig av helning, men også generelt av terrengform, ruhet, vegetasjon og kontinuitet.

Terrengmodellen er også benyttet som grunnlag for kjøring av beregningsmodeller.

Avrenningsanalyse (strømningsanalyse) er gjort basert på detaljert 1 m terrengmodell. Denne analysen viser hvordan vannet vil ledes av terrenget i en flomsituasjon, og inkluderer ikke skjult/lukket drenering. Ofte kan stikkrenner og annen lukket drenering gå tett i en flomsituasjon, og analysen kan derfor vise realistiske og representative forhold. Analysen er utført i ArcGIS og benytter algoritmen D-Infinity (DINF) for å beregne strømningsveier. Denne algoritmen lar vannet spres mer, istedenfor å sende alt vannet i den bratteste retningen. Ved å bruke denne algoritmen kan man identifisere kritiske punkter hvor vannet kan spres og ta en annen (uventet) retning i en flomsituasjon. Avrenningskart fra denne analysen er produsert for alle områdene og brukt i skredfarevurderingen.

1.3 Andre datakilder benyttet i vurderingen

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

- Serier av historiske flyfoto
- Løsmassekart i målestokk 1:250 000
- Berggrunnskart i målestokk 1:50 000 fra NGU
- [InSAR Norge fra NGU](#); oversikt over langsomme bevegelser i fjellsider
- [NVEs database for potensielt ustabile fjellparti og fjellskredovervåkning](#)
- Aktsomhetskart for snøskred, steinsprang, jord- og flomskred fra NVE Atlas
- Skogsdata fra NIBIO: SR16 og SAT-SKOG samt oversikt over produktiv skog fra AR5

1.4 Registreringskart

Registreringskartet er gitt i Vedlegg C for kartleggingsområdet, og er utarbeidet iht. NVEs krav om kartmal og symbologi, med skyggekart som bakgrunn.

Kartleggingsområdet har fått vurdert et relevant påvirkningsområde hvor skredrelevant informasjon er registrert. Påvirkningsområdet omfatter bratt terreng ovenfor kartleggingsområdet som kan gi skred med utløp inn i det kartlagte området. Registreringskartet inkluderer skredavsetninger, spor og observasjoner av relevans for skredfarevurderingen, avledet fra detaljerte skyggekart. Registreringskartet angir også vurderte løseområder for skred av relevans for å utarbeide eventuelle faresoner.

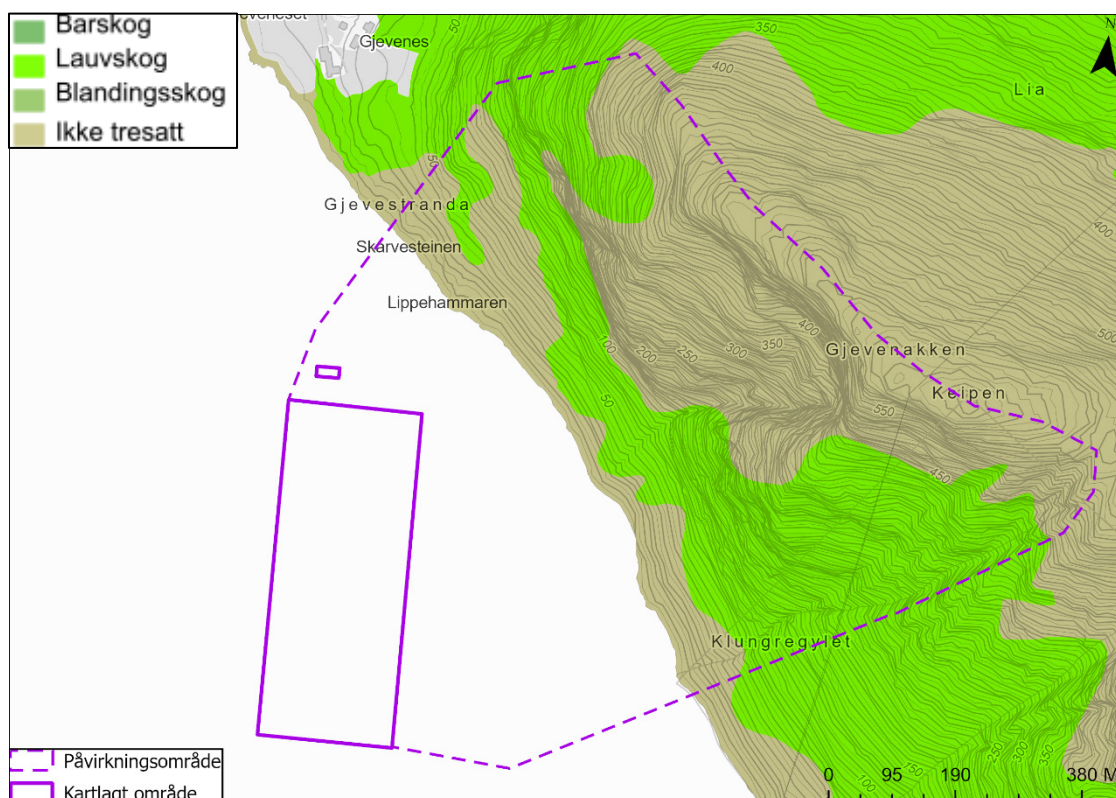
1.5 Modellering av skred

Beregningsmodeller er et viktig supplement når endelig plassering av faregrensene skal bestemmes. Viktigste kilde til fastsettelse av faregrenser er faglig skjønn basert på erfaring og observasjoner gjort under befaringen og opplysninger om tidligere skredhendelser. Modellkjøringer er et hjelpemiddel for å se på utløpslengder og terreng-

effekter, og vurdere om det er behov for justering av grensene på bakgrunn av dette. Tallrike inngangsvariabler og simuleringsparametere må bestemmes av eksperter. Med kompleks topografi kan det være svært vanskelig å nøyaktig bestemme plasseringen og størrelsen på et utløsningsområde for et spesifikt scenario. Betydningen og påliteligheten av skredsimulering kan variere sterkt (Margreth, 2019). Det er derfor ikke nødvendigvis hensiktsmessig å beregne alle potensielle utløsningsområder for alle sannsynligheter, men et representativt utvalg. Vi har kun modellert snøskred med tilhørende snøsky i påvirkningsområdet da vi har vurdert avstanden fra kartleggingsområdet og aktuelle skredutløp som tilstrekkelig lang til at kartleggingsområdet ikke vil påvirkes av øvrige skredtyper.

1.6 Vurdering av skog

Det er begrenset areal med skog av betydning i det vurderte området, og ingen produktiv skog å hensynta (Figur 1-1). Høyoppløselig digitale terrengmodeller (DTM) og digitale overflatemodeller (DOM) er brukt for å identifisere skog og kvantifisere skogforhold.



Figur 1-1 Oversikt over skogsforholdene i området (AR5-data fra NIBIO).

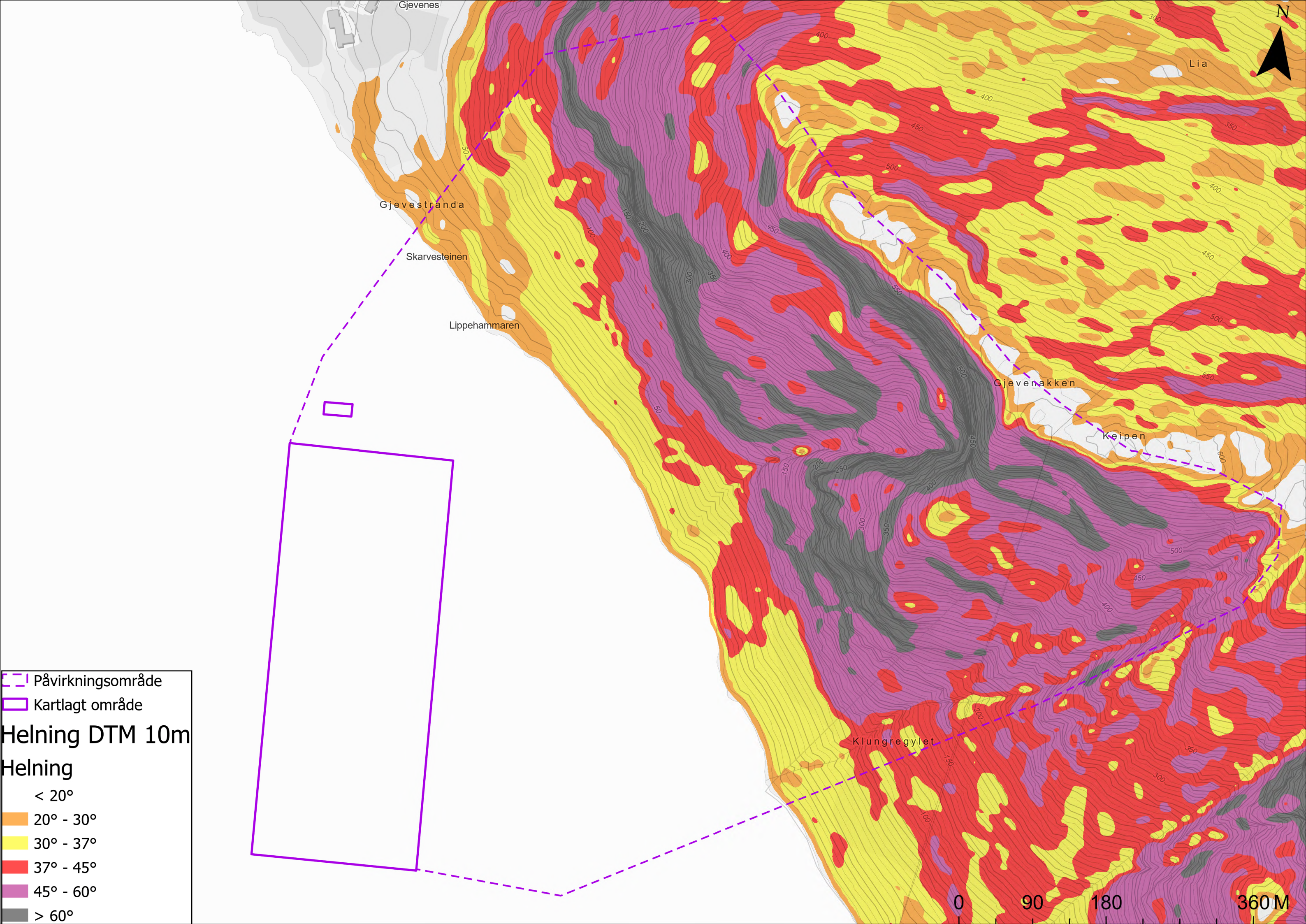
For steinsprang kan skog ha bremsende effekt for mindre steinblokker (under 2 m³), gitt at skogen står tett nok og har kraftig nok diameter (NGI, 2015). Basert på NGIs anbefalinger (2015) anslås en DBH på 12 cm som nedre grense for at skog skal være relevant i en fareutredning for steinsprang. Skogen i det aktuelle området er verken tett

nok eller kraftig nok til å ha tilstrekkelig effekt mot steinsprang da fallhøydene potensielt er store. Skog er derfor ikke nærmere omtalt under utredning av steinsprangfare.

Det er ikke skog i områder med jord-, sørpe- eller flomskredfare som påvirker disse faretypene i nevneverdig grad for de returperioder som her er aktuelle. Skog er derfor ikke nærmere omtalt for disse skredtypene.

Vedlegg B

HELNINGSKART



Vedlegg C

REGISTRERINGSKART

Vedlegg D

MODELLBESKRIVELSE

Innhold

B1	Modellbeskrivelse	2
B1.1	SAMOS-solver	2

D1 Modellbeskrivelse

Beregningsmodeller er et viktig supplement ved fastsettelse av faregrenser i kombinasjon med faglig skjønn basert på erfaring og observasjoner gjort under befarings- og opplysninger om tidligere skredhendelser.

D1.1 SAMOS-solver

SAMOS-solver er core av SAMOS-AT, utviklet i 2007 ved AVL List GmbH i Østerrike, er etterfølgeren av SAMOS, som var i bruk fra 1999¹². En kort beskrivelse av modellen finnes i³ Sampl og Granig (2009), mens Sailer m.fl.⁴ (2009) og Granig m.fl.⁵ (2009) gir informasjon om validering og eksempler. Modellen kan koble sammen en kvasi-3D (dybdemidlet) modell for den tette delen av snøskred og en 3D modell for snøskya, dvs. det turbulente laget med relativt lav tetthet som utvikler seg på overflaten av tørre snøskred.

Den numeriske implementeringen av SAMOS-AT omfatter følgende elementer:

- Et regulært grid med celler på typisk 5×5 m² brukes for å representere terrenget og resultatene for det tette laget.
- Et grovere grid (typisk 10×10 m²) fra terrenngmodellen, som utvides til den tredje dimensjonen med typisk 20 lag av celler benyttes for å simulere snøskya. Høyden til disse cellene er 2 m nederst og øker oppover.
- 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 med skredsnø.
- I snøskya løses ligningene for luften gjennom en implisitt finite-volum-metode og ligningene for partiklene gjennom eksplisitt tidsintegrering.

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

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

¹ 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

² Sampl, P. & Zwinger, T. (2004) Avalanche simulation with SAMOS, Annals of Glaciology, Int Glaciological Soc, 2004, 38, 393-398

³ Sampl, P., og Granig, M. (2009). Avalanche simulation with SAMOS-AT. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop Davos 2009. Sider 519–523

⁴ 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

⁵ 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

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

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

I ligningene ovenfor er h flyte høyden, $u = (u, v)$ den dybdemidlede hastigheten, $g = (g_x, g_y, g_z)$ tyngdeakselerasjonen, $\bar{\sigma}_{xx}$ og $\bar{\sigma}_{yy}$ de dybdemidlede normalspenningene langs bakken, σ_{xz}^b og σ_{yz}^b skjærspenningene langs bakken, σ_{xz}^s og σ_{yz}^s skjærspenningene langs overflaten til det tette laget. j_e og j_s er henholdsvis erosjonsraten (medrivningsraten) og suspenderingsraten (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.

Normalspenningene normalt med bakken er lik det hydrostatiske trykket,

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

For skjærspenning er det mulig å bruke forskjellige modeller, f.eks. en Voellmy-type eller en modifisert Voellmy-type som er standard i SAMOS-AT. Men SAMOS-solver tillater også andre type skjærspenningsmodeller. Som et resultat er SAMOS-solver relativt fleksibel og kan også håndtere andre typer skred enn tørre snøskred, for eksempel flomskred eller sørpeskred.

Vi har brukt denne modellen til å vurdere spredning og rekkevidde av flom-, sørpe- og jordskred. Hensikten er ikke å dimensjonere, men å finne terrengets sprednings- og avsetningsegenskaper. Den numeriske modellen er tilpasset en ikke-newtonisk Herschel-Bulkley-Coulomb⁶⁷⁸ type modell:

$$(\sigma_{xz}^b, \sigma_{yz}^b) = \frac{\mathbf{u}}{\|\mathbf{u}\|} \left[5.3 \left(K_{HB} \left(\frac{\|\mathbf{u}\|}{h} \right)^n + \tau_y \right) + \mu \bar{\sigma}_{zz} \right]$$

I ligningen ovenfor er K_{HB} en konsistens-indeks, n er Herschel-Bulkley-eksponent, τ_y er skjærstyrke, og μ er Coulomb friksjonsfaktor. Modellen inkluderer også medrivning.

For jordskred er det benyttet en tetthet på 1700 kg/m^3 .

6 Coussot, Philippe (19097) Mudflows Rheology and Dynamics IAHR Monograph Series, A.A. Balkema /Rotterdam/Brookfield

7 Dahl, M-PJ.et al. (2012) Numerical runout simulation of debris avalanches in the Faroe Islands, North Atlantic Ocean, Landslides, Vol 10, Nr. 5, 623-631.

8 Kang et al (2021) A simplified depth-averaged debris flow model with Herschel-Bulkley rheology for tracking density evolution: a finite volume formulation Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 80, No. 7, 5331-5346



Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/ <i>Document information</i>		
Dokumenttittel/<i>Document title</i> Utredning av skred i bratt terreng for flytende anlegg		Dokumentnr./<i>Document no.</i> 20240322-01-R
Dokumenttype/<i>Type of document</i> Rapport / Report	Oppdragsgiver/<i>Client</i> Mowi ASA	Dato/<i>Date</i> 2024-05-29
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/<i>Proprietary rights to the document according to contract</i> NGI		Rev.nr.&dato/<i>Rev.no.&date</i> 0 /
Distribusjon/<i>Distribution</i> BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/<i>Keywords</i> skredfarevurdering, steinsprang, S2, oppdrettsanlegg, akvakultur, akvakulturanlegg		

Stedfesting/ <i>Geographical information</i>	
Land, fylke/<i>Country</i> Møre og Romsdal	Havområde/<i>Offshore area</i>
Kommune/<i>Municipality</i> Sykkylven	Feltnavn/<i>Field name</i>
Sted/<i>Location</i> Gjeveneset	Sted/<i>Location</i>
Kartblad/<i>Map</i> 084N	Felt, blokknr./<i>Field, Block No.</i>
UTM-koordinater/<i>UTM-coordinates</i> Sone: Øst: Nord:	Koordinater/<i>Coordinates</i> Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/ <i>Document control</i>					
Kvalitetssikring i henhold til/ <i>Quality assurance according to NS-EN ISO9001</i>					
<i>Rev/</i> Rev.	<i>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</i>	<i>Egenkontroll av/ Self review by:</i>	<i>Sidemanns-kontroll av/ Colleague review by:</i>	<i>Uavhengig kontroll av/ Independent review by:</i>	<i>Tverrfaglig kontroll av/ Inter-disciplinary review by:</i>
0	Originaldokument	2024-05-24 Elise Morken	2024-05-27 Peter Gauer		2024-05-27 Frode Sandersen

Dokument godkjent for utsendelse/ <i>Document approved for release</i>	Dato/<i>Date</i> 29. mai 2024	Prosjektleder/<i>Project Manager</i> Elise Morken
---	---	---

2015-11-16, 043 n/e, rev.03

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, forurensset 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.

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



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

Firma:

Norges Geotekniske
Institutt

Org.nr

958254318MVA

(Søk i <https://brreg.no>)

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

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

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

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

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



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Signatur:

Heidi Hefre

HEIDI HEFRE

Sted og dato:

Oslo, 2023-11-30