

Oppdragsgiver	Navn Tinn kommune	Kontaktperson Dagfinn Jaren Eli Samuelsen
Oppdrag	Nummer og navn 18175 Tinn, Rjukan – Skredfarekartlegging for Rjukan sentrum	Oppdragsleder Andrea Taurisano
Dokument	Nummer 18175-01-1 Utført av Andrea Taurisano	Dato 2018-11-13 Kontrollert av Kalle Kronholm

Skredfarekartlegging i bratt terreng

Sammendrag

Tinn kommune har engasjert Skred AS til å utføre en skredfarekartlegging av et større område i Rjukan. Skredfarekartlegging er utført i forhold til gjeldende krav for sikkerhetsklasse S1, S2 og S3 i TEK17.

Faresoner er kartlagt i et 8 km langt område. For hele området var det tidligere utarbeidet 1000 års faresoner for de enkelte typer skred i bratt terreng (NGU, 2004).

I forhold til skredfarekartleggingen fra 2004 og de fleste av skredfareutredningene gjennom årene gjort av NGI, har vi i dette arbeidet benyttet høydedatagrunnlag med 1 m x 1 m oppløsning og dynamiske modeller for beregning av mulig utløpslengde for skred. Eksisterende skredfarevurderinger og nyetablerte sikringstiltak er også vurdert.

Faresonene viser at det til tross for en del sikringstiltak etablert i de siste 20 årene fortsatt er mye bebyggelse som ligger godt innenfor faresone for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000.

På nordsiden av dalen er steinsprang, steinskred, jordskred og flomskred dimensjonerende for 1000 års faresone. På sørsiden av dalen er også snøskred dimensjonerende, spesielt i området ved Svadde.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Mål	5
1.3	Forbehold	5
2	Krav til sikkerhet mot skred	6
2.1	Lovverket	6
2.2	Aktuelle krav	7
2.3	Vurderte skredtyper	7
2.3.1	Snøskred og sørpeskred	7
2.3.2	Skred i fast fjell	7
2.3.3	Jordskred og flomskred	8
2.3.4	Skredfare og klimaendringer	8
3	Metodikk for fastsettelse av faresoner for dette oppdraget	9
3.1	Skredhistorikk	9
3.2	Høydemodeller, skyggekart og helningskart	9
3.3	Topografi, vegetasjon og klimaforhold	10
3.4	Feltkartlegging	10
3.5	Registreringskart	12
3.6	Modellering	12
3.7	Beregninger med Rockyfor3d for steinsprang	13
3.8	Beregninger med RAMMS for snøskred	14
3.9	Beregninger med RAMMS for jord-/flomskred	14
3.10	Tolkning av modellresultater	14
3.11	Tidligere faresoner	14
3.12	Fastsetting av faresoner	15
4	Beskrivelse av området	17
4.1	Geologi	18
4.2	Vegetasjon	19
4.3	Registrerte skredhendelser	19
4.4	Tidligere rapporter	20
4.5	Aktsomhetsområder og tidligere skredfaresoner	20
4.6	Eksisterende skredsikringstiltak	20
4.7	Klimatiske trekk av betydning for skredfare	21
5	Delområde vest, fra Krosso til Ingolfsland	23
5.1	Topografi	23
5.2	Skredfarevurdering	23
5.2.1	Snøskred	23
5.2.2	Sørpeskred	24
5.2.3	Løsmasseskred	25

5.2.4	Skred i fast fjell	25
5.2.5	Faresoner for skred	27
5.2.6	Mulighet for å redusere faresonene	27
6	Delområde øst, fra Ingolfsland til Bekkhus	29
6.1	Topografi.....	29
6.2	Skredfarevurdering.....	29
6.2.1	Snøskred	29
6.2.2	Sørpeskred.....	30
6.2.3	Løsmasseskred	30
6.2.4	Skred i fast fjell	31
6.2.5	Faresoner for skred	31
6.2.6	Mulighet for å redusere faresonene	32
7	Konklusjon	33
8	Referanseliste	34

Figurer

Figur 1: Lokalisering og avgrensning av det kartlagte området på Rjukan.	5
Figur 2: Den vestlige (A) og østlige (B) delen av det kartlagte området i et flybilde fra www.norgebilder.no.	17
Figur 3: Kart med beregnet terrenghelning i fjellsiden over det kartlagte området.	18
Figur 4: Beregnet 1-døgns- og 3-døgnsnedbør med ulike gjentaksintervaller for vintermånedene desember til mars, samt hele året. Data fra www.eklima.no.	22
Figur 5: Fremherskende vind i vintermånedene desember til mars. Data fra www.eklima.no.	22
Figur 6: Skyggekart over fjellsiden ved Gamlenut. Pilene viser et mulig ustabilt fjellparti.	26
Figur 7: Faresoner for skred i delområdet vest, med symboler for dimensjonerende skredtype.	27
Figur 8: Faresoner for skred i delområdet øst, med symboler for dimensjonerende skredtype.	32

Tabeller

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2016).	6
Tabell 2: Oversikt over de benyttede meteorologiske stasjonene. Feil! Bokmerke er ikke definert.	

Vedlegg

Kartbilag 1: Helningskart

Kartbilag 2: Registreringskart

Kartbilag 3: Utvalgte modelleringsresultater

Kartbilag 4: Faresoner skred i bratt terreng

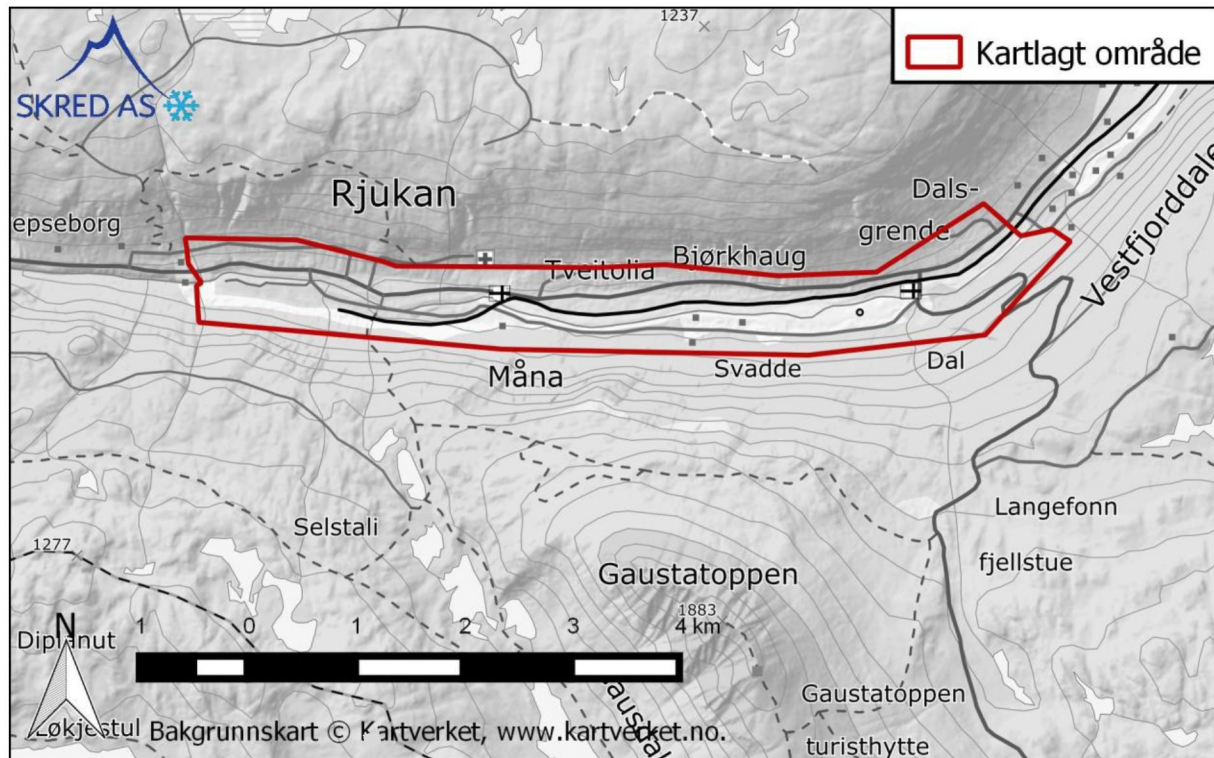
Kartbilag 5: Fotobilag

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Skred AS er bedt om å utføre en skredfarekartlegging for et 8 km langt område ved Rjukan i Tinn kommune. Skredfarekartlegging er utført i forhold til gjeldende krav for sikkerhetsklasse S1, S2 og S3 i TEK17.

Området omfatter begge sider av Vestfjorddalen og er vist i figur 1 og figur 2.



Figur 1: Lokalisering og avgrensning av det kartlagte området på Rjukan.

1.2 Mål

Skred AS er bedt om å utføre en skredfarekartlegging for områdene vist i figur 1. Dagens krav til sikkerhet mot skred, definert i TEK17 med veileder, for samtlige sikkerhetsklasser skal legges til grunn for vurderingene.

1.3 Forbehold

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

Vurderingene er gjort ut fra terreng og vegetasjon slik de var på vurderingstidspunktet, på tilgjengelig bildemateriale, flyfoto, og kotegrunnlag. Hvis terreng eller vegetasjon endres, kan det ha betydning for skredforholdene. Da anbefales det å utføre en ny vurdering.

2 Krav til sikkerhet mot skred

2.1 Lovverket

Plan- og bygningsloven § 28-1 stiller krav om tilstrekkelig sikkerhet mot fare for nybygg og tilbygg:

«Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak.»

Byggteknisk forskrift TEK17 § 7-3 definerer krav til sikkerhet mot skred for nybygg og tilhørende uteareal (Tabell 1). Sannsynligheten i Tabell 1 angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, dvs. skred med intensitet som kan medføre fare for liv og helse og/eller større materielle skader. I veilederen til TEK17 gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for skred (DiBK, 2018).

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2018).

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	Liten	1/100
S2	Middels	1/1000
S3	Stor	1/5000

I sikkerhetsklasse S1 inngår byggverk der det normalt ikke oppholder seg personer og der det er små økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Mindre brygger og lagerbygninger med lite personopphold er nevnt som eksempler.

Sikkerhetsklasse S2 omfatter tiltak der et skred vil føre til middels konsekvenser. Dette kan eksempelvis være byggverk der det normalt oppholder seg maksimum 25 personer og/eller der det er middels økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Driftsbygninger i landbruket samt parkeringshus og havneanlegg er nevnt som eksempler.

Sikkerhetsklasse S3 omfatter tiltak der et skred vil føre til store konsekvenser. Dette kan eksempelvis være byggverk der det normalt oppholder seg mer enn 25 personer og/eller der det er store økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Eksempler på byggverk som kan inngå i denne sikkerhetsklassen er:

- eneboliger i kjede/rekkehus/boligblokk/fritidsbolig med mer enn 10 boenheter
- arbeids- og publikumsbygg/brakkerigg/overnattingssted hvor det normalt oppholder seg mer enn 25 personer
- skole, barnehage, sykehjem og lokal beredskapsinstitusjon

Kravet til sikkerhet for uteareal tilhørende bygninger, skal i utgangspunktet være lik kravet til bygningen. Allikevel åpner lovverket for å redusere sikkerhetsnivået til uteareal med en klasse, dersom dette vil gi tilfredsstillende sikkerhet for tilhørende uteareal. Momenter som må vurderes i denne sammenheng er blant annet eksponeringstiden for personer og antall personer som oppholder seg på utearealet.

2.2 Aktuelle krav

Hensikten med arbeidet oppsummert i denne rapporten, er å gi Tinn kommune detaljerte skredfarekart for bruk i alt planarbeid og byggesaksbehandling. Skredfarekartleggingen er derfor utført i forhold til gjeldende krav for sikkerhetsklasse S1, S2 og S3 i TEK17.

2.3 Vurderte skredtyper

I TEK17 er det spesifisert at samlet sannsynlighet for alle skredtyper skal legges til grunn for vurderingen av årlig sannsynlighet. Vi har derfor vurdert følgende skredtyper:

- Skred i fast fjell
- Skred i løsmasser
- Snøskred, inkludert sørpeskred

Den endelige vurderingen av skredfare er samlet nominell årlig sannsynlighet for skred, som kan sammenliknes direkte med kravene i Tabell 1.

2.3.1 Snøskred og sørpeskred

Snøskred kan inndeles i løssnøskred og flaskred. Løssnøskred utløses i snø med lav fasthet, som gjerne starter med en liten lokal utglidning. Etter hvert som nye snøkorn blir revet med utvider skredet seg og kan få en pæreform. Flaskred oppstår når en større del av snødekket løsner som et flak langs et glideplan. Det er flaskred som har størst skadepotensiale. Store snøskred løsner vanligvis der terrenget er mellom 30-50° grader bratt. Der det er brattere enn dette blir snøen stadig ut slik at det ikke dannes større skred. Snøskred kan skape skredvind med kraft til å utrette stor skade.

Sørpeskred er en strøm med vannmettede snømasser. Sørpeskred følger som oftest forsenkninger i terrenget, og oppstår når dreneringen i grunnen er dårlig, som for eksempel på grunn av tele og is. Sørpeskred kan utløses i slakt terreng, for eksempel når kraftig snøfall blir etterfulgt av regn og mildvær. Sørpeskred kan også utløses når varme gir intens snøsmelting. Skredmassene har høy tetthet og skred med lite volum kan gi stor skade. Det er ikke utarbeidet aktsomhetskart for sørpeskred.

2.3.2 Skred i fast fjell

Når en eller flere steinblokker løsner og faller, spretter, ruller, eller sklir nedover en skråning benyttes begrepene steinsprang (volum <math><100\text{ m}^3</math>) og steinskred (volum 100-10.000 m^3). Steinsprang og steinskred løsner oftest i bratte fjellparti der terrenghelningen er større enn 40-45°.

2.3.3 Jordskred og flomskred

Jordskred starter med en plutselig utglidning i vannmettede løsmasser og blir som regel utløst i skråninger som er brattere enn 25-30°. Man kan skille mellom kanaliserte og ikke-kanaliserte jordskred.

Et kanalisert jordskred skaper en kanal i løsmassene som kan fungere som skredbane for nye skred. Skredmasser kan bli avsatt og danne langsgående rygger parallelt med kanalen. Når terrenget flater ut blir skredmassene avsatt i en tungeform. Over tid kan flere slike skred bygge en vifte av skredavsetninger. I et ikke-kanalisert jordskred flytter massene seg nedover langs en sone som gradvis kan bli bredere. Mindre jordskred kan oppstå i slakere terreng med finkorna, vannmettet jord og leire, gjerne på dyrka mark eller i naturlig terrasseformede skråninger i terrenget.

Flomskred er raske, vannrike, flomlignende skred som følger elve- og bekkeløp, eller raviner, gjel eller skar, ofte uten permanent vannføring. Helningen i utløsningsområdet kan være ned mot 10°. Skredmassene kan bli avsatt som langsgående rygger på siden av skredløpet, og oftest i en stor vifte nederst, der de groveste massene ligger ved roten av vifta og finere masser blir avsatt utover vifta. Massene i et flomskred kan komme fra store og små flomskred langsetter flomløpet, undergraving av sideskråninger og erosjon i løpet, eller i kombinasjon med sørpeskred.

2.3.4 Skredfare og klimaendringer

Spesielle værforhold er en dokumentert utløsende faktor for de fleste typer skred, og forekomsten av disse skredtypene vil naturlig bli påvirket dersom klimaet utvikler seg slik at ekstremt vær inntreffer oftere. Generelt vil et varmere og våtere klima kunne påvirke frekvensen av jordskred, flomskred, snøskred og sørpeskred, men i hvilken grad skredaktiviteten vil endres i hver landsdel er uvisst.

Det er ikke mulig å beregne et «klimapåslag» for skredsannsynlighet, skredstørrelse eller skredutløp og så bruke dette i skredfarekartlegging. Klimautviklingen inngår dermed i en rekke usikkerhetsmomenter som det ikke finnes verktøy for å kvantifisere, men som vurderes skjønnsmessig når en utreder eller kartlegger skredfare.

3 Metodikk for fastsettelse av faresoner for dette oppdraget

Utarbeidelse av skredfaresoner er en kompleks prosess som i stor grad avhenger av skredfaglig skjønn og erfaring. Den inkluderer en grundig vurdering av flere viktige momenter og datagrunnlag, frem til faresonene. Disse er kort omtalt nedenfor.

3.1 Skredhistorikk

Skred vil ofte gjenta seg der det har gått skred tidligere. Dette gjelder både de nesten årlige skredene og de sjeldnere hendelsene. Det å dokumentere tidligere skredhendelser er derfor svært viktig i en skredfarevurdering. Dette vil gi informasjon om hvilke områder som er mest utsatt for skred og kan også gi informasjon om den potensielle rekkevidden av skredene. Et utvalg av historiske skredhendelser er samlet i en nasjonal skreddatabase (NVE Atlas) og vises på atlas.nve.no. Skreddatabasen kan ikke oppfattes som en komplett historikk av hendelser i et område, og plassering av hendelsene i databasen, samt registrert skredtype oppfatter vi som veiledende mer enn absolutt.

I tillegg til informasjon fra NVE Atlas, har vi tatt i betraktning informasjon om skredhistorikk inneholdt i tidligere skredfareutredninger, samt eventuelle opplysninger mottatt under gjennomføring av befarings.

3.2 Høydemodeller, skyggekart og helningskart

En digital høydemodell (DHM), eller terrengmodell, er en tredimensjonal digital representasjon av terrenget som gir informasjon om høyde over havet i hvert punkt av datasettet.

Terrengmodellene som er benyttet for denne skredfarekartleggingen, er laget basert på punktskyer fra LiDAR-skanning til den nasjonale høydemodellen. Skanningen er utført i flere omganger frem til 2017 med en punktetthet på 2 og 5 punkter per kvadratmeter. Dataene er lastet ned fra hoydedata.no. Bakkepunkter er filtrert ut fra punktskyene, og terrengmodellene er generert basert på disse og med oppløsning på 1 m x 1 m.

Skyggekart er en visningsmåte av en DHM som gir et relieffkart av terrenget. Skyggekart fra detaljert DHM er svært nyttige i geologisk skredkartlegging for å avgrense skredbaner, løснеområder, skredavsetninger osv. Det er laget skyggekart med innstråling fra minst fire ulike retninger.

Helningskart er også beregnet fra en DHM og viser terrenghelningen for hvert punkt i datasettet. Terrenghelningen er en av de viktigste parameterne for å definere løśnieområder for skred. Helningskartet for det kartlagte området vises i vedlegg 1 og er delt inn i følgende klasser:

25° til 30°: mulige løśnieområder for jordskred

30° til 45°: mulige løøgneområder for jordskred og snøskred

45° til 60°: mulige løøgneområder for snøskred og steinsprang

60° til 90°: mulige løøgneområder for steinsprang

3.3 Topografi, vegetasjon og klimaforhold

Topografien er et av de aller viktigste elementene som avgjør en fjellsides skredpotensial. Blant de topografiske forholdene som er viktige for skredpotensialet, i tillegg til terrenghelningen, er terrengformen og terrengruheten.

Terrengformen beskrives av kurvaturen eller krummingen i terrengoverflaten, både parallelt med og på tvers av høydekurvene. Snø, overflatevann og grunnvann har alle mer tendens til å akkumuleres eller konsentreres i konkave, dvs. gryteformede, terrengpartier enn på konvekse former som rygger. I konkave terrengpartier er det derfor ofte større sannsynlighet for utløsning av snøskred, jordskred og flomskred enn på ryggformasjoner. Ved kildeområder for steinsprang, kan derimot konvekse fjellknauser gi like mye (eller mer) utfall av blokker enn mer konkave deler av en skrent, eller potensial for utfall av større volum. For samtlige typer skred, i varierende grad, vil ofte konkave terrengformer som raviner og nedskjærte bekkeløp styre bevegelsen i fjellsiden og utløpet.

Terrengruheten i potensielle løsneområder kan også påvirke sannsynligheten for skredutløsning. Dette har spesielt stor betydning for snøskred, der bruddforplantning over store arealer krever relativt gjennomgående lagdeling i snødekket: Mye større snømengder er nemlig nødvendig for å tildekke terreng med stor ruhet enn for å tildekke glattere overflater. Ruheten av terrenget lenger nede i skredbanen er på den andre siden blant faktorene som styrer skredutløpet, spesielt for steinsprang. Både terrengkrumming og ruhet vurderes skjønnsmessig ved GIS-baserte analyser som benytter høyoppløsnings terrengmodell, ved hjelp av skyggekart, samt ved feltobservasjoner.

Vegetasjonen har også betydning for skredfarevurdering. Effekten av skogen er i denne rapporten vurdert ut fra befaringsobservasjoner og flybildestudie, i henhold til NGIs rapport «Skog og skred – Forslag til kriterier for vernskog mot skred» (NGI, 2013), samt NVEs «Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet» (NVE, 2015).

3.4 Feltkartlegging

Befaring i området ble gjennomført av Andrea Taurisano, Kalle Kronholm og Nils Arne Kavli Walberg, Skred AS, mellom 3. og 5. juli 2018. Det var varmt og klart sommervær på befaringsstidspunktet. Befaringen ble gjennomført ved bruk av bil og delvis til fots. To droner med 12 – 16 Mpx kameraer ble anvendt for observasjon og fotografering av ufremkommelige deler av fjellsidene. I tillegg ble området ovenfor Hotel Admini befart av Nils Arne Kavli Walberg, Skred AS, 14. august 2018.

Mye av fokuset under feltbefaringene var på å danne seg et bedre inntrykk av løsneområder og skredbaner for de ulike typer skred. En første identifisering av potensielle løsneområder ble gjort før feltarbeidet, basert på helningskart med 1 m oppløsning med inndeling i helningsklassene vist i avsnitt 3.2. Under feltbefaringene ble de potensielle løsneområdene definert på bakgrunn av terrenghelning, vurdert i lys av andre lokale forhold, spesielt terrengform og vegetasjon. Den samlede vurderingen førte til at noen potensielle løsneområder ble avkreftet og fjernet fra kartet, mens andre ble bekreftet og nærmere avgrenset.

For snøskred ble de fleste potensielle løsneområdene vurdert å ha et reelt skredpotensial, med mindre skogen stod tett nok til å forebygge snøskredutløsning iht. anbefalingene gitt i rapportene nevnt i avsnitt 3.3 (NGI, 2013 og NVE, 2015). Åpne felter opptil 50 m lange (i fallretningen) i 30° graders terreng, opptil 40 m lange ved helning på 35-40° og opptil 30 m lange ved helning 40-45°, er ikke vurdert som reelle løsneområder for snøskred.

For jordskred er løsneområdene i første omgang definert som alle løsmasseskråninger brattere enn 25°. For de ulike potensielle løsneområdene er i tillegg sannsynligheten for skredutløsning skjønnsmessig vurdert. Denne sannsynlighetsvurderingen ble basert på de følgende momentene, der det siste er viktigst:

- terrengformen (mindre sannsynlighet på ryggformasjoner enn i konkave eller åpne skråninger);
- vegetasjon (mindre sannsynlighet i tett skog enn i bart terreng);
- hydrologiske forhold (mindre sannsynlighet ved veldig begrenset nedslagsfelt og liten vanntilgang);
- eventuelle forhold som endrer naturlig vannavrenning og stabilitet (eks. skogsveger);
- informasjon om, samt tegn på tidligere skred (mindre sannsynlighet ved manglende tidligere skredaktivitet i fjellsiden). Det er lagt spesielt vekt på kartlagte skredavsetninger (NGU, 2004).

Dårlig håndtering av overvann, etablering av skogsveger og andre terrenginngrep som måtte skje i etterkant av våre vurderinger, kan føre til økt sannsynlighet for utløsning av jordskred.

Løsneområder for flomskred ble i utgangspunktet identifisert ved alle forsenkede terrengformasjoner, eks. raviner og nedskjærte bekkeløp, med enten løse materialer eller potensial for erosjon langs løpet.

Sørpeskred kan løsne i svært ulike typer terreng, for eksempel nesten flate myrområder, høyfjellsplatåer, vatn som drenerer ut i bratte bekker, bratte kløfter og gjel i høye fjellskrenter. En sørpeskredhendelse kan også starte som annen skredtype, f.eks. som et våtsnøskred eller en flom i høytliggende bekk, og vil ofte gå over til andre prosesser, eks. flomskred. Dersom alle terrengpartier der dette er teoretisk mulig, kartlegges som løsneområder for sørpeskred, og utløp kartlegges fra hvert teoretisk løsneområde, vil en ofte få et farebilde som hverken stemmer med skredhistorikk eller kvartærgeologi, og der sørpeskred mange steder blir dimensjonerende prosess. Konsekvensen er uforholdsmessig stor utrygghetsfølelse i befolkningen, båndlegging av arealer og behov for sikringstiltak. Vi legger derfor vekt på manglende historikk for sørpeskred i det kartlagte området. De fleste skredbanene der sørpeskred teoretisk kan inntreffe, er imidlertid også aktuelle for flomskred, som i motsetning til sørpeskred har mye historikk i området. Der er det altså generelt tegnet faresoner dimensjonert av flomskred.

Løsneområder for steinsprang er i første omgang definert som alle naturlige fjellskrenter brattere enn 45°. Små skrenter under ca. 5 m høyde blir ikke kartlagt som løsneområder med mindre de ligger innenfor eller så nære ovenfor kartleggingsområdet at utløp derfra kan komme inn i det vurderte området. Utover det er altså alle skrenter over 45° tatt med som

potensielle kildeområder i det senere modelleringsarbeidet. Etter befaringsobservasjoner og dronebildeanalyse ble det imidlertid gjort en kvalitativ vurdering av steinsprangpotensialet i de ulike kildene: Noen skrenter har for eksempel kraftig oppsprukket berg og mange avløste partier, mens andre virker mye mer kompakte. Dette gjenspeiles generelt i omfanget av steinsprangavsetningene i foten av skrenten. Størrelsen av kartleggingsområdet ville imidlertid gjort det umulig å kalibrere dynamiske modeller for hvert enkelt løsneområde og scenario, slik det ville gjøres dersom det skulle prosjekteres sikringstiltak for en bestemt skredbane.

Derfor, for samtlige skrenter er det utført modellering av to eller tre typiske scenarioer (blokker på 1-2 m³, på 5-10 m³ og på 50 m³) uavhengig av egenskapene i det enkelte kildeområdet. Det er i neste steg, dvs. i forbindelse med tolking og vektlegging av resultatene frem til tegning av faresoner, at den kvalitative vurderingen av de enkelte skrentene og avsetningene, ble lagt vekt på. Dette førte til ulik vektning av modelleringsresultater, skredhistorikk og registrerte avsetninger og forklarer også hvorfor det stedvis er relativt stort avvik mellom modellert skredutløp og faresoner.

3.5 Registreringskart

Registreringskartet er resultatet av omfattende forarbeid med identifisering av løsneområder, skredbaner og skredavsetninger gjort på bakgrunn av helningskart, skyggekart og flybilder, samt feltregistreringer. Under befaringen er fokuset på registrering av terrengformer og elementer av betydning for skredfarevurderingen, derunder tegn på utglidninger, flomskred og nylig steinsprangaktivitet, både som sår i løsneområder og som avsetninger nederst i fjellsidene. Der relevant og mulig, er også kartfestbare opplysninger fra lokalkjente ført i kart.

3.6 Modellering

Resultater av skredmodellering utført med ulike beregningsverktøy kan brukes til å etterprøve og underbygge vurderinger av forventet skredutløp basert på andre kilder som skredhistorikk, feltobservasjoner og skjønn.

Modellresultatene, eks. maksimalt utløp, flyte høyde, skredhastighet og trykk, er alltid sterkt avhengig av de valgte inngangsparameterne. Utfordringen ligger generelt i den store usikkerheten rundt avgrensning av løsneområdene (spesielt ved mange diffuse kilder), dimensjonerende mobiliserbare volumer og materialeegenskaper.

Muligheten til å kalibrere modeller basert på tidligere hendelser krever derfor ikke bare at det finnes historiske hendelser i nærliggende og sammenlignbare områder, men også at relativt detaljert informasjon om de hendelsene er tilgjengelig. Blant annet bør kunnskap om skredvolumet, med avgrensning av skredutløpet, foreligge. Dette skjer meget sjeldent.

Selv i de få tilfellene der det er mulig å etterregne kjente skred, er det umulig å vite gjentaksintervallet for skredet som modellen kan kalibreres opp mot. Parameterne som gir best «match» mellom observert og modellert utløp kan da ikke brukes direkte for modellering av 1000 års eller 5000 års scenarioer.

Vi har derfor valgt å generelt bruke konservative parametersett og vurdere det beregnede skredutløpet i forhold til de kartlagte skredavsetningene. Modellverktøy er med andre ord først og fremst benyttet som strømningsmodeller, dvs. for å bedre definere hvordan skredmasser ville bevege seg i fjellssidene, men uten å legge for stor vekt på modelleringsresultatene når det gjelder å vurdere det maksimale utløpet for skred med årlig sannsynlighet på 1/100, 1/1000 og 1/5000. Dette til tross for at vi har forsøkt å definere scenarier som skjønnsmessig kan tenkes å svare til ulike faresoner, og at det er utført flere beregninger for å teste effekt av variasjonen i de ulike parametersettene. Faresonene er som regel ikke basert på en spesifikk modellberegning, men tegnet ut fra en samlet vurdering av observasjoner, tidligere informasjon, beregninger og erfaring.

Modellering av skredutløp er utført for alle skredprosesser som terrengeanalyse og befaringsobservasjoner tilsier er aktuelle i kartleggingsområdet, altså snøskred, steinsprang og løsmasseskred (jord- og flomskred). De benyttede modellene og deres oppsett er beskrevet nedenfor.

3.7 Beregninger med Rockyfor3d for steinsprang

Programvaren Rockyfor3d (Dorren, 2015), versjon 5.2.4 er anvendt til beregning av mulig utbredelse av steinsprangblokker. Generell fremgangsmåte er som følger:

- Definere scenarier for hendelser med ulike årlige sannsynligheter, inklusive fastsettelse av følgende parametere:
 - Kildeområde.
 - Størrelse på steinsprangblokker. Typiske verdier som vi har benyttet, er på 1, 5 og 10 m³. Dette valget var i liten grad avhengig av størrelse og oppsprekingsgrad vurdert for de ulike kildene. De lokale forholdene i skrenten og eventuelle avsetningene er derimot tatt i betraktning i en senere fase, dvs. ved tolkning av modelleringsresultater opp mot andre elementer, fram til tegning av faresonene.
- Vurdering av resultater mot registrerte avsetninger som representerer tidligere steinsprangutfall.

Generelle innstillinger er som følger:

- Det er simulert 50 utfallende blokker per celle i kildeområdene.
- Det er anvendt en startfallhøyde på 5 m.
- Det er ikke tatt høyde for skog.
- Tetthet = 2700 kg/m³.
- Blokkform = kubisk og rektangulær.
- Det er benyttet automatisk valgte, gjennomsnittlige verdier for bakkens ruhet og energidemping («Rapid automatic simulation»). Vi har erfaring med at disse gir relativt høye restitusjonskoeffisienter, og dermed relativt langt beregnet utløp.

3.8 Beregninger med RAMMS for snøskred

Modellering av mulig skredutbredelse av snøskred er gjort med RAMMS (Christen mfl., 2010), versjon 1.7.20, modulen for snøskred. Verdiene for friksjonsparameterne μ og ξ er definert som anbefalt i programmet, med unntak av at øvre høydenivå er redusert fra 1500 moh. til 1000 moh., og nedre høydenivå fra 1000 moh. til 500 moh. Av mangel på nasjonale retningslinjer, er de anvendte innstillingene satt basert på skjønn.

Utløsningsområder er definert fra terrengform og beregnet terrenghelning, historisk informasjon, og vurdering i felt av blant annet vegetasjon. Bruddhøyder er typisk variert mellom 1 m og 2 m. Disse er beregnet med utgangspunkt i 3 døgns vinternedbør med 1000 års gjentaksintervall på Rjukan (102 mm, tilsvarende ca. 100 cm nysnø). Denne verdien er økt opptil 100 % for løснеområdene med størst potensiale for snøakkumulasjon, dvs. de i le for fremherskende vindretning, med konkav form og/eller høyere liggende. Dette også for i noen grad å ta i betraktning effekten av medrivning, som gjør at skredvolumet øker mens skredet beveger seg nedover en fjellside, men som beregningsmodellen ikke inkluderer direkte. Bruddhøyden anvendt for hvert løснеområde er vist i figurene med modellresultater (Vedlegg 3). Med disse bruddkanthøydene som utgangspunkt, for definisjonen av friksjonsparameterne, har vi kjørt beregninger med friksjonsparametere tilsvarende skred av størrelse «large».

Det er ikke utført beregninger for skredvind.

3.9 Beregninger med RAMMS for jord-/flomskred

Modellering av mulig skredutbredelse av flomskred er gjort med RAMMS Debris Flow (Christen mfl., 2012), versjon 1.7.20. Utløsningsområder er tegnet i eller ovenfor forsenkninger (eks. søkk og bekkeløp) der flomskred har større sannsynlighet for å løses ut. Det er benyttet en «block release» mekanisme, med mobiliserte løsmasseflak på 2 m tykkelse. Friksjonsparameter ξ er satt til 100 m/s^2 , mens friksjonsparameter μ er satt lik 0,10. Resultatene er brukt til å vurdere mulighet for utbredelse av flomskred. Det er i første omgang benyttet en terrengmodell med oppløsning på 10 m x 10 m. Ettersom resultatet ga tilfredsstillende overensstemmelse mellom beregnede utløp og kartlagte avsetninger, ble det ikke gjort flere modellkjøringer med mindre cellestørrelse.

For jordskred utenfor etablerte søkk eller bekkeløp, men i åpne skråninger, er det ikke utført modellering, men skjønnsmessige vurderinger basert på terreng, befaringsobservasjoner, skredhistorikk og spesielt kartlagte skredavsetninger.

3.10 Tolkning av modellresultater

Det er utført flere beregninger for å teste effekt av variasjonen i de ulike parametersettene. Faresonene er derfor ikke basert på en spesifikk modellberegning, men laget ut fra en samlet vurdering av observasjoner, tidligere informasjon, beregninger og erfaring.

3.11 Tidligere faresoner

For hele kartleggingsområdet foreligger det allerede faresoner for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000 utarbeidet av NGU og NGI (NGU, 2004). De faresonene er

resultatet av omfattende kartleggingsarbeid utført over lang tid, som også inkluderer en komplett gjennomgang av skredhistorikken frem til 2001 og kartlegging av avsetningene i dalen utført av NGUs kvartærgeologer.

Faresonene fra 2004 er ikke iht. dagens standard for skredfarekartlegging ettersom arbeidet gjort i 2004 presenterer individuelle faresoner for snøskred, steinsprang/steinskred og jord-/flomskred, uten en sammensatt faresone for skred i bratt terreng. Det er heller ikke utarbeidet faresoner for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/100 og 1/5000. Faresonene fra 2004 har siden vært i bruk i Tinn kommune.

Vi har derfor lagt stor vekt på de eksisterende faresonene, men vi har revurdert dem, og stedvis justert dem, i lys av nyere skredhistorikk, resultater av modellering utført med datagrunnlag og verktøy som ikke var tilgjengelige da de faresonene ble utarbeidet, samt sikringstiltak etablert etter at faresonene ble ferdigstilt.

3.12 Effekten av eksisterende bygninger

I mesteparten av det kartlagte området er det eksisterende bebyggelse, inkludert større bygninger helt eller til dels bygd i betong (eks. ved sykehuset og industriområdene).

Det er utenfor denne rapportens formål å vurdere de dynamiske lastene som de enkelte bygningene kan utsettes for uten skader av betydning. Effekten bygningene ville ha på skred som måtte gå ned mot dem, er heller ikke blant forholdene som det er mulig å modellere med programvare for beregning av skredutløpet (avsnitt 3.6 til 3.9).

Der skredfaresoner stopper i bakkanten av eksisterende bygninger, men går lenger ned mellom bygningene, forutsettes i praksis at byggene kan stoppe dimensjonerende skred uten å få skader av betydning, slik at personskader i bygningene er veldig usannsynlige. Vi mener at denne forutsetningen er forsvarlig dersom en analyse av byggenes strukturelle aspekter (utført av byggingeniør) tilsier at bygg tåler større dynamiske laster enn de som er beregnet for dimensjonerende skred. I mangel på slike analyser mener vi det er riktig å forutsette at 5000 års skred, og ofte 1000 års skred, kan gjøre store skader selv på betongbygninger, når disse ikke er sikret mot skred eller dimensjonert for det, og treffes direkte.

Denne forutsetningen er fulgt ved tegning av faresonene i Rjukan. Implikasjonene er av spesiell betydning for sykehuset og industriområdene, men også der det er vanlige boligbygg i flere rader langs potensielle skredbaner (eks. ved Kleiva, øst i kartleggingsområdet).

3.13 Fastsetting av faresoner

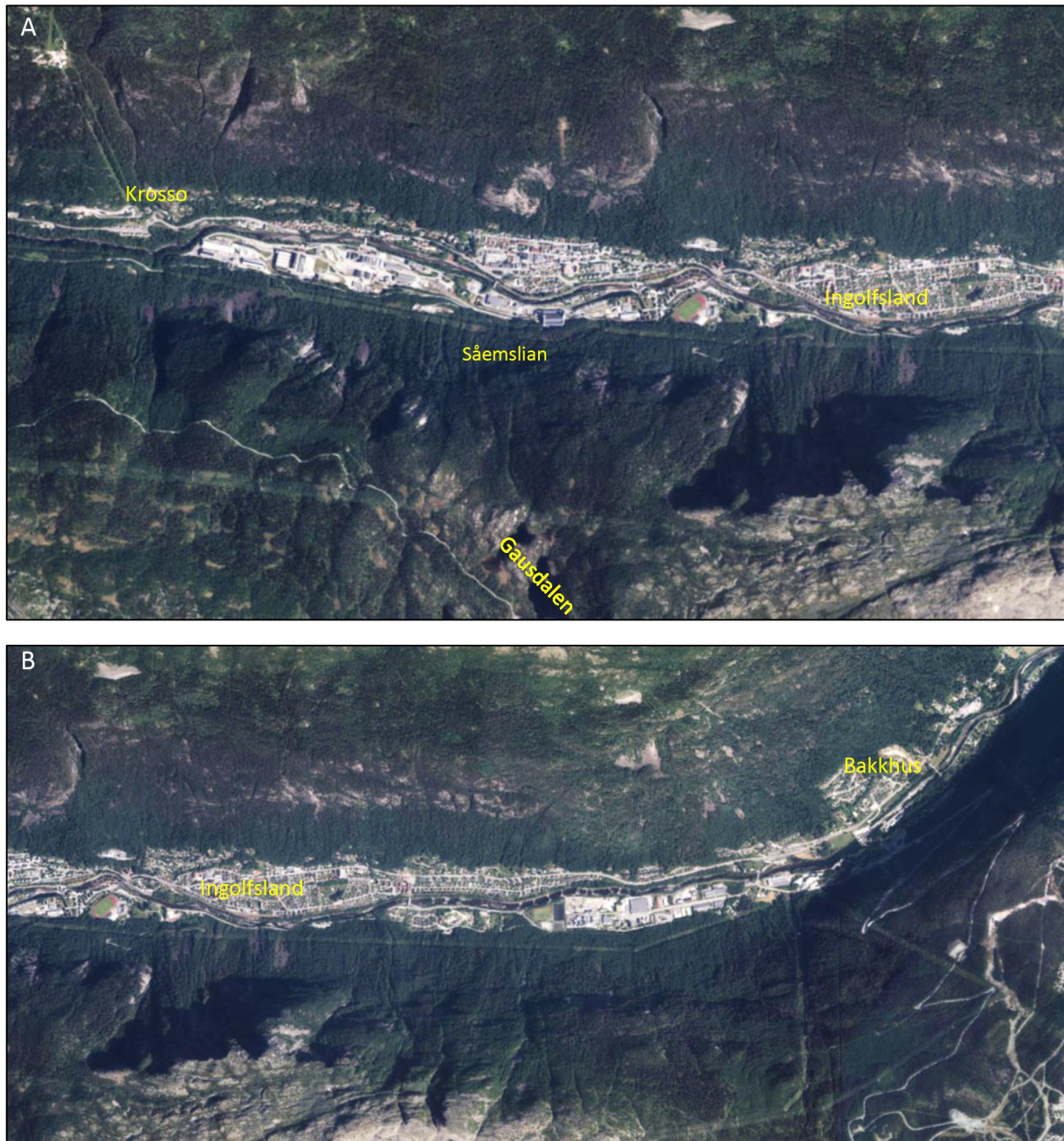
Faresoner fastsettes for skred med årlig sannsynlighet 1/100, 1/1000 og 1/5000 for den samlede sannsynlighet for alle typer skred.

Den endelige vurderingen av sannsynligheten for de ulike skredprosesser, scenarioer og beregnede skredutløp, har vært i stor grad basert på skredfaglig skjønn, som beskrevet i avsnittene ovenfor.

Der faresonene er dimensjonert av snøskred, og «skredvinden» er vurdert å være en aktuell problemstilling, er denne tatt i betraktning i selve faresonene, uten at det er utført beregninger av utbredelsen av dette faremomentet.

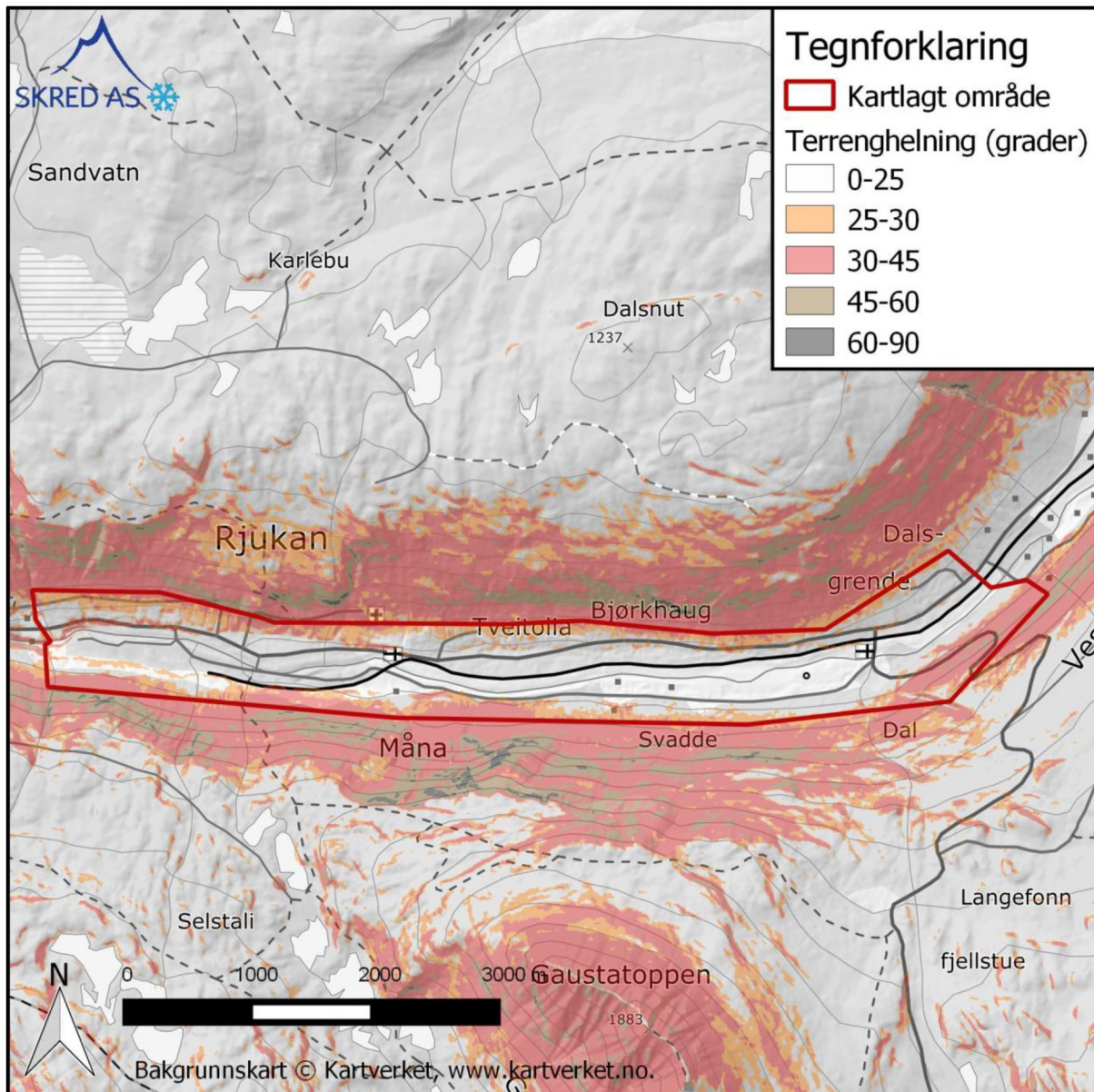
4 Beskrivelse av området

Det kartlagte området er 8 km langt og omfatter begge sider av Vestfjorddalen fra Krosso i vest til Bakkhus i øst, med Rjukan sentrum i den midtre delen av området. For bedre lesbarhet av figurene i rapporten blir kartleggingsområdet delt inn i to delområder: 1) Et vestlig delområde fra Krosso til Ingolfsland; 2) Et østlig delområde fra Ingolfsland til Bakkhus. Disse er vist i Figur 2.



Figur 2: Den vestlige (A) og østlige (B) delen av det kartlagte området i et flybilde fra www.norgebilder.no.

I grove trekk ligger kartleggingsområdet i en relativt smal dal med bunn på 310 moh. i vest og 230 moh. i øst, med bratte fjellsider som stiger 800 – 1600 høydemeter fra dalbunnen (Figur 3). Måna renner mot øst i dalbunnen. Terrengforholdene i de to delområdene er nærmere beskrevet i avsnittene 5.1 og 6.1.



Figur 3: Kart med beregnet terrenghelning i fjellsiden over det kartlagte området.

4.1 Geologi

Berggrunnen i fjellsiden er kartlagt i målestokk 1:50 000 og består ifølge NGUs berggrunnsdatabase av metamorfe bergarter som metaryolitt, metaignimbritt og metatuff, med lokale innslag av intrusive bergarter som gabbro og amfibolitt (NGU, 2018a). Øvre deler av Gaustatoppen består ifølge NGUs kart av kvartsitt.

Ifølge NGU løsmassekart (NGU, 2018b), er det tykt morenedekke i den nedre delen av dalsiden i nord, med unntak av mange forsenkede terrengpartier der morenedekket skal være erodert bort og erstattet av skredmaterialer. I den midtre delen av fjellsiden er det kartlagt tynnere morene vest for Rjukan sentrum, og bart fjell øst for det. I dalsiden i sør viser løsmassekartet et sammenhengende belte med skredavsetninger som dekker de nedre 200 – 400 m av fjellsiden. Lenger opp viser kartet bart fjell, og tynn morene helt i øst.

4.2 Vegetasjon

Fjellsidene ovenfor kartleggingsområdet er dekket av blandet skog med furu og lauvtrær opptil ca. 1100 moh. Det er imidlertid mange partier med blottet fjell eller steinur, der det ikke er skog.

Sammenligning av flyfoto fra perioden 2002 – 2014 viser ingen endringer av betydning når det gjelder skogen og ingen tydelige tegn på nye skred. Det er imidlertid en del skygge, som gjør vurderingen vanskelig.

4.3 Registrerte skredhendelser

I NVE Atlas (NVE, 2018) er det registrert 10 – 12 steinspranghendelser og like mange løsmasseskred som har kommet inn i det vurderte området, hvorav de fleste mellom Krosso og Øverland. I tillegg er det 3 – 4 snøskred som fra fjellsiden i sør har gått ned mot Svadde, samt mange, antakelig lokale skredhendelser langs Fv651 Svineroivegen der denne krysser den bratte delen av fjellsiden i sørøst. Alle disse hendelsene er lagt inn i registreringskartet i kartbilag 2.

Rjukan og Vestfjorddalen er ellers et område der de fleste typer skred i bratt terreng er kjent å ha forekommet og anses av folk flest som aktuelle problemstillinger. Det er all grunn til å tro at mange flere skredhendelser har gått ned mot bebyggelsen i de siste 100 – 200 årene enn det som vises i NVE Atlas. Mange hendelser er omtalt i skredfareutredninger tidligere utført i området, men ikke alle er registrert i skreddatabasen.

For eksempel, i oktober 1982 gikk en steinblokk på ca. 3 m³ gjennom Skriugata 25A, uten personskader. Mindre steiner gikk ned på huset i Skriugata 23 i 2014. I mai 2004 gikk et steinsprang ned mot industriområdet, ca. 400 m vest for Titanfabrikken i Hydro Næringspark. I april 2011 kom to steiner ned i hagen ved huset i Haddelandsveien 1. Disse hendelsene ligger ikke inn i NVE Atlas.

I forbindelse med storflommen av juni 1927 gikk det mange skred i området. I Skriugata ble flere hus (spesielt nr. 9, 21, 23 og 25) tatt av skred, mens ved fabrikkområdet sør for elva døde 6 arbeidere i et flomskred som gikk ned i Såemsåe, med mye skade på Vemorksporet og stasjonsområdet. Ifølge NGI skal faren for nye skadelige flomskred der i dag være redusert av at bekkene fra ca. kote 500 ledes inn i en vanntunell dimensjonert for ekstreme nedbørshendelser (NGI rapport 20081239-1).

En mer fullstendig oversikt enn NVE Atlas over skredhendelser registrert fra midten av 1600-tallet til 2001, er gitt i et vedlegg til NGUs rapport av 2004. Oversikten er tilgjengelig på nettet: <http://www.tinn-kommune.com/Rapporter/NGI/NGU-2004-023-V2.pdf>.

4.4 Tidligere rapporter

Vi har fått kjennskap og tilgang til et hundretalls tidligere skredfareutredninger, for det meste utført av NGI i perioden 1964 - 2017. Mange av disse er lokale skredfarevurderinger ifb. ny utbygging, mens andre er notater skrevet etter skredhendelser. Tinn kommune har selv samlet rapportene i en nettside (<http://www.tinn-kommune.com/Skredrapporter.html>).

Den tidligere omtalte rapporten av NGU (2004) skiller seg ut i at den oppsummerer resultatet av omfattende skredfarekartleggingsarbeid utført av NGU og NGI i perioden 2001 – 2002. Det arbeidet dekker hele det aktuelle kartleggingsområdet.

Videre, på oppdrag fra NVE kartla Skred AS i 2015 skredfare i utvalgte områder i Tinn kommune (Skred AS rapport nr. 15046-01). Resultatet er presentert i en NVE-rapport (NVE, 2016). Området som er aktuelt i vår rapport, grenser i vest og øst med to områder kartlagt i NVE-rapporten fra 2016.

4.5 Aktsomhetsområder og tidligere skredfaresoner

Det vurderte området ligger praktisk talt i sin helhet innenfor NVEs aktsomhetssoner for snøskred og for steinsprang. Store deler av området ligger også innenfor aktsomhetssoner for jord- og flomskred ifølge NVEs aktsomhetskart (NVE, 2018).

De tidligere omtalte faresonene for snøskred, løsmasseskred og steinsprang / steinskred publisert av NGU (NGU, 2004), viser at snøskred generelt er dimensjonerende skredtype i dalsiden i sør, mens steinsprang og løsmasseskred er de mest aktuelle prosessene i dalsiden i nord. Totalt sett viser de faresonene at store deler av bebyggelsen i det kartlagte området er utsatt for de ulike skredtypene, dog i noe mindre omfang enn aktsomhetskartene tilsier.

4.6 Eksisterende skredsikringstiltak

NVE Atlas (NVE, 2018) viser kun to sikringstiltak i det kartlagte området. Begge er elveforbygninger / erosjonssikringer, den ene i Måna mellom Krosso og Rjukan sentrum og den andre i Grosetåe ved Dale.

Under befaringen har vi i tillegg observert følgende tiltak, også vist på registreringskartene i Vedlegg 3:

- Ca. 70 m med steinspranggjerdar ovenfor Skriugata 25A – 27B. I 2015 foreslo NGI (rapport 20150300-01-R) en oppgradering av dette tiltaket til en total lengde på 650 m ovenfor hele Skriugata, men vi kjenner ikke til at det arbeidet ble utført.
- En ca. 45 m lang voll ovenfor Skogveien 22 – 24. Vi kjenner ikke til bakgrunnen for dette tiltaket, men flybilder indikerer at det er etablert mellom 2007 og 2008.
- En ca. 230 m lang, ca. 6 m høy løsmassevoll ovenfor Tveitolia. Denne skal være bygd etter et steinskred i 1974 og oppgradert etter nye vurderinger gjort av NGI i 1995 (NGI rapport nr. 954080-1).
- En ca. 200 m lang og 3 – 4 m høy, bueformet fangvoll ovenfor Gyvingjordet 22 – 28 på Svadde, kombinert med en 120 m lang ledevoll i bekken rett vest for boligfeltet. Disse vollene ble bygd ifb. etablering av boligfelt i midten av 1980-tallet etter anbefalinger gitt av NGI (NGI rapport nr. 80435-2). Fangvollen skulle ifølge NGI-

rapporten gi en årlig sannsynlighet på skader mindre enn 3/1000, der steinsprang og våtsnøskred var dimensjonerende skredtyper. Rapporten angir ikke en minimum vollhøyde for å oppnå den effekten. Rapporten sier derimot at vollen ikke ville ha effekt mot tørrsnøskred fra øvre del av fjellsiden, hvis årlige sannsynlighet blir anslått til å være lavere enn 3/1000.

- En ca. 320 m lang, 1,5 – 2,5 m høy fangvoll mot steinsprang bygd ovenfor Vemorksporet og 313-bygget. Effekten av vollen er blant forholdene vurdert av NGI i notatet nr. 20170377-01.
- Sikring av et ustabil fjellparti rett øst for Gaustabekken ved hjelp av betongsøyler. Dette tiltaket er også nevnt i NGI-notatet nr. 20170377-01.

Vi kjenner i tillegg til noen flere sikringstiltak like utenfor kartleggingsområdet, for eksempel en ledevoll på Moe Vestre, rett øst for kartleggingsområdets østlige ende.

4.7 Klimatiske trekk av betydning for skredfare

I skredfareutredninger der snøskred forventes å være en aktuell skredtype, er det vanlig å utføre en analyse av områdets klimatiske trekk med størst betydning for snøskredfarevurderingen.

Noen av de tidligere rapportene nevnt i avsnitt 3.4, inneholder en analyse av områdets klima. Disse viser blant annet at Rjukan har en årsnedbør på 834 mm, med månedsnedbør størst på høsten. For skredfarevurderingen er imidlertid ekstremnedbør av større betydning enn normale verdier.

Figur 4 viser beregnet 1-døgns og 3-døgns ekstremnedbør med ulike gjentaksintervaller. Beregningen er gjort for hele året og for vintermånedene (desember – mars). I en høyde på ca. 1000 moh., der de mulige løsneområdene for snøskred ligger, antas mesteparten av nedbøren som faller i disse fire vintermånedene, å komme i formen av snø.

De beregnede 1-døgns- og 3-døgnsnedbørverdier om vinteren er på 68 og 102 mm, som tilsvarer ca. 70 og 100 cm nysnø. Dette inkluderer ikke tilvekst av nysnø grunnet vindtransport.

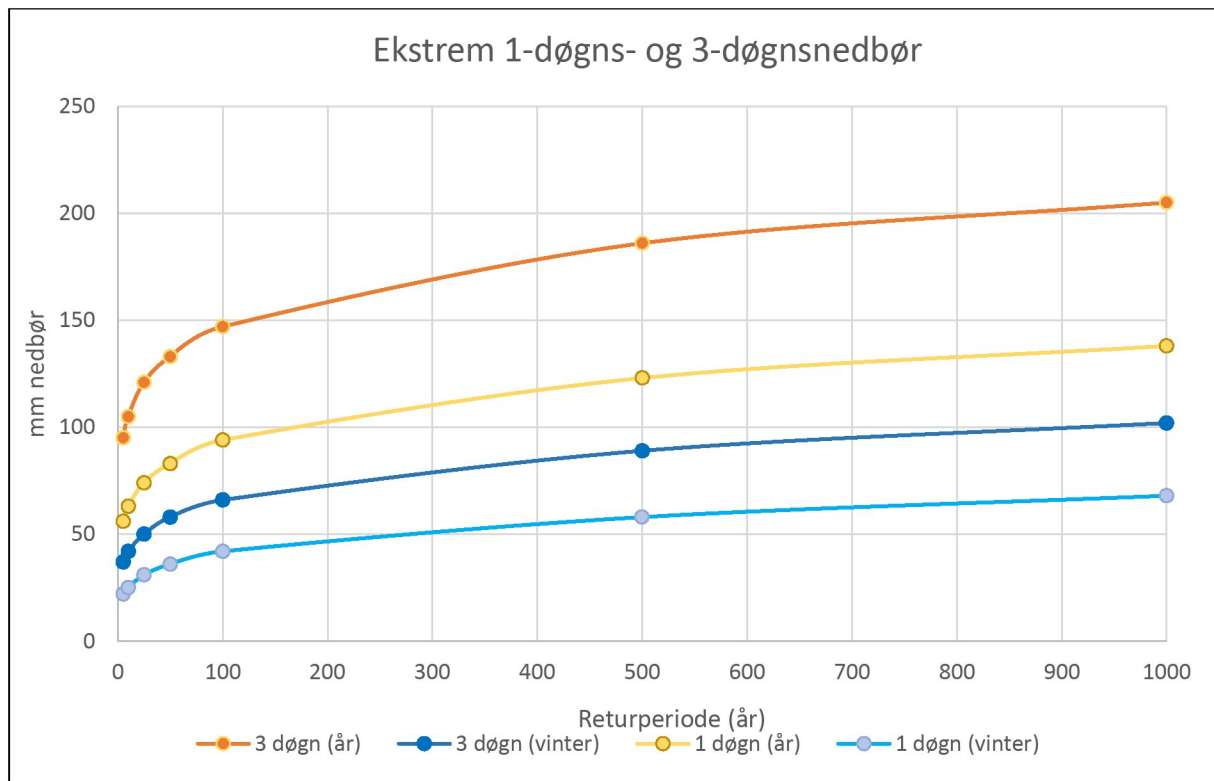
På årsbasis er de beregnede 1-døgns- og 3-døgnsnedbørverdier 138 og 205 cm. På grunn av begrenset lengde på måleserien, er det stor usikkerhet rundt beregninger for gjentaksintervaller på over 100 år.

Ekstremnedbørsanalyse gjort på årsbasis kan bidra til vurdering av jord- og flomskredfare.

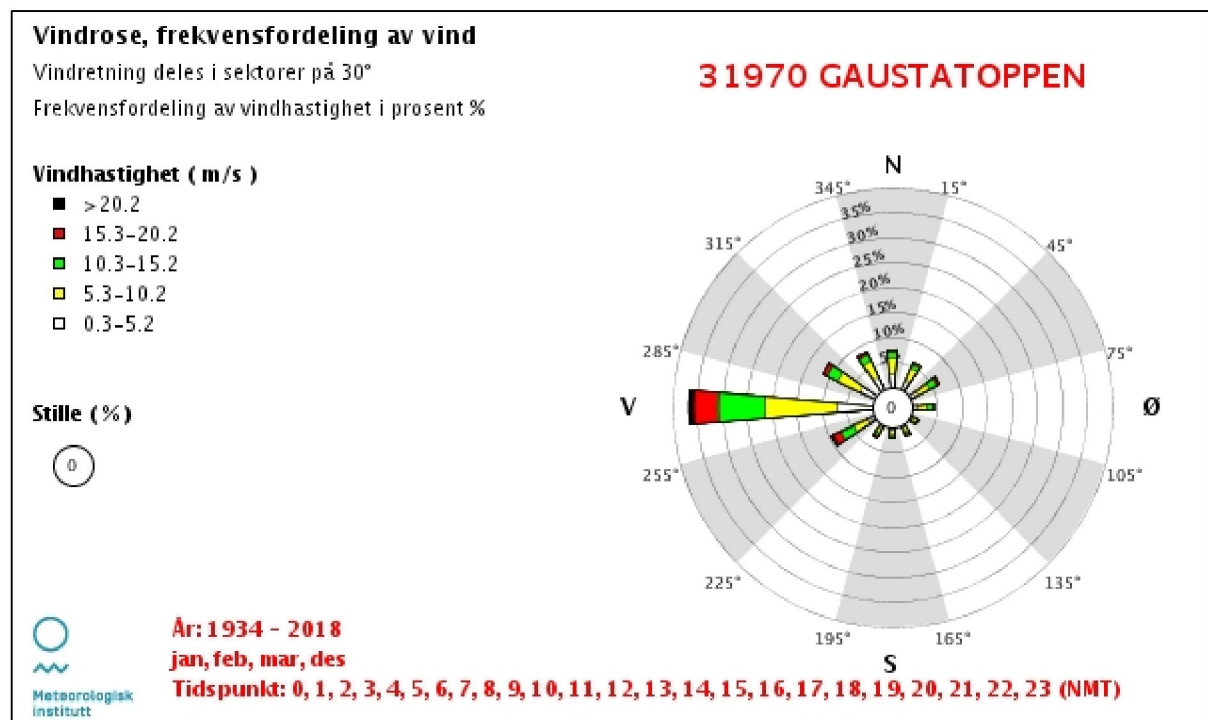
Studier utført i Norge (Sandersen m.fl., 1996) indikerer at løsmasseskred ofte løses ut ved døggnedbør på min. 8 % av gjennomsnittlig årlig nedbør. I det vurderte området betyr det døggnedbør på ca. 67 mm. Analysen ovenfor viser at gjentaksintervallet for en døggnedbør på 67 mm i vurderingsområdet er på ca. 20 år.

Sannsynligheten for at en nedbør potensielt i stand til å utløse løsmasseskred forekommer, er ikke er det samme som sannsynligheten for at skred faktisk utløses. Det siste avhenger av mange flere forhold enn nedbørintensitet, og blant alle de forholdene er terrenget viktigst.

Frekvensfordeling av vind i vintermånedene, vist i Figur 5, viser at vind fra vestlig sektor er dominerende. Dataene er fra Gaustatoppen, ettersom Rjukan-stasjonen ikke måler vind.



Figur 4: Beregnet 1-døgns- og 3-døgnsnedbør med ulike gjentakintervaller for vintermånedene desember til mars, samt hele året. Data fra www.eklima.no.



Figur 5: Fremherskende vind i vintermånedene desember til mars. Data fra www.eklima.no.

5 Delområde vest, fra Krosso til Ingolfsland

5.1 Topografi

Terrenganalysen i dette delområdet er basert på en terrengmodell med 1 m x 1 m oppløsning fra laserscanning (LiDAR) utført i 2012 og 2017. Et oversiktskart med terrenghelning for hele kartleggingsområdet er vist i Figur 3. Et mer detaljert kart med terrenghelning i delområdet er vist i kartbilag 1.

I nord ligger dette delområdet i foten av en rekke fjell på over 1000 m høyde. Disse er en ikke navngitt topp på 1058 moh. og Landsethovda (1165 moh.) i vest, samt to ikke navngitte topper på 1152 og 1154 moh. litt lenger øst, med sistnevnte ovenfor Ingolfsland.

Denne fjellsiden er nesten i sin helhet brattere enn 25 - 30°. Det bratte terrengpartiet begynner rett ovenfor bebyggelsen, stedvis allerede fra elva i dalbunnen, og fortsetter opptil 950 – 1100 moh., der fjellsiden flater ut mot fjelltoppene litt lenger nord. Den bratte fjellsiden ovenfor bebyggelsen inneholder store fjellskrenter med helning mellom 45 og 90°. Disse ligger spesielt mellom 550 – 900 moh. i vest og mellom 350 – 700 moh. i øst. To større bekker, Krossåe og Kåsåbekk (Figur 1 i Vedlegg 5), renner ned mot Måne i Vestfjorddalen i den vestlige delen av denne fjellsiden. Det er i tillegg en ikke navngitt bekk som renner ned fra Gamlenut lenger øst og kommer ned like vest for Rjukan sykehus. I tillegg er det noen mindre bekker.

Mot sør ligger delområdet i foten av Store Bjørndalsnuten (1293 moh.) og Reinsnuten (1222 moh.), samt Gaustatoppen (1883 moh.). Gausdalen løper i NV-SØ retning mellom de første to nevnte toppene og Gaustatoppen. Bare de nordligste av de mange tjønnene i bunnen av Gausdalen drenerer mot kartleggingsområdet, gjennom en bekk som renner ned i Såemslan. Vest for Gausdalen er fjellsiden ovenfor kartleggingsområdet for det meste brattere enn 25 - 30° opptil 750 – 900 moh., der den flater ut. Store deler av dette bratte terrengbeltet består av fjellskrenter med helning mellom 45 og 90°. Denne delen av fjellsiden er veldig kupert, med flere bekker (eks. Leivdalsåe og Seimsåe) som renner ned mot kartleggingsområdet.

Øst for Gausdalen stiger Gaustatoppen (1883 moh.). Fjellsiden mot kartleggingsområdet er meget bratt: Fra ca. 300 moh. opptil 1050 – 1250 moh., består den av store fjellskrenter med helning mellom 45 - 90° vekslende med partier med helning på 25 - 45°. Det er så et slakere parti (dvs. under 25 - 30°) opptil ca. 1300 -1350 moh., før fjellsiden igjen fortsetter å stige brattere enn 30° opptil toppen.

5.2 Skredfarevurdering

5.2.1 Snøskred

Fjellsiden i nord er bratt, men i all hovedsak dekket av skog som er tett nok til å forebygge snøskredutløsning. Vi vurderer at det kun er et to reelle løsnedområder, som har potensial til å nå inn i det vurderte området: Et parti mellom ca. 675 – 850 moh. i gjelet der Kåsåbekk går (Figur 3 i Vedlegg 5), og et sva mellom ca. 380 – 450 moh. ovenfor Skriugata (Figur 4 i Vedlegg 5).

Det første løснеområdet ligger i et terrengparti som delvis er i le for fremherskende vindretning om vinteren, som er fra vest. Partiet er bratt, men kan trolig akkumulere nok snø til å kunne gi snøskred. Vi mener det her er mer sannsynlig med våtsnøskred, som modelleringsresultater indikerer kan krysse Villaveien og Fossoveien og gå helt ned til elva. Vi mener videre at et slik snøskred har en årlig sannsynlighet av relevans for 1000 års faresone, selv om mindre våtsnøskred trolig går oftere. Det andre løснеområdet vender mot sørøst og er derfor også i le for vinder fra vestlig sektor. Vi mener dette partiet under ekstreme forhold kan gi både tørr- og våtsnøskred. I og med at partiet ligger lavt og er omringet av skog og bratte skrenter (som antakelig gjør vindtransport ubetydelig inn mot løснеområdet), vurderer vi at dette kun har betydning for 5000 års faresone.

Fjellsiden i sør inneholder flere bratte terrengpartier der skogen ikke er tett nok til å forebygge snøskredutløsning og som derfor kan anses som reelle løснеområder.

Noen løснеområder ligger ovenfor Såem, vest for Såemsåe, mellom ca. 450 - 730 moh. Terrenghelningen i disse områdene er så bratt at den, kombinert med et bergunderlag, begrenser de mulige snøskredvolumene. Disse partiene ligger imidlertid i le for vinden, og det er litt slakere terreng (fortsatt over 30°), bart eller med glissen skog, lenger ned i skredbanene. Derfor mener vi at man ikke kan utelukke snøskred av relevans for 1000 års faresone. Modellering er utført med kun 1 m bruddkant, og faresonen er ikke tegnet så langt ut i dalbunnen som det beregnede utløpet tilsa. Vi tok altså i betraktning at det mest sannsynligvis ikke blir store skred her.

Det er flere mulige løснеområder for snøskred ovenfor Rjukan stadion og den vestlige delen av Svaddevegen. Disse ligger omtrent ved Svaddenipun, mellom 1000 og 1150 moh., og er delvis i le for vestlige vinder på grunn av den kuperte lokale topografien. Disse løснеområdene ligger rett over den øvre skoggrensen. De vestligste av dem er dekket av kratt og glissen, lav skog, mens de andre er helt bare. Snøskred av relevans for 1000 års faresone vurderes derfor som aktuelle her. Modellering er utført med 1,5 m bruddkant og viser at snøskred kan gå helt ned til elva i området øst for Mæland.

Terrengbeltet der de sistnevnte løснеområdene ligger, fortsetter østover langs nordsiden av Gaustatoppen, med flere løснеområder der. Disse diskuteres i avsnitt 6.2.1.

5.2.2 Sørpeskred

Fjellsidene over dette delområdet har flere bekkeløp der sørpeskred teoretisk kan inntreffe. Eksempler er Kråssåe og Kåsåbekk i nord, samt Leivdalsåe, Såemsåe og flere bekker mellom disse i sør.

Blant de veldig mange skredhendelsene registrert i og rundt Rjukan siden midten av 1600-tallet, er det imidlertid ikke tilfeller av sørpeskred. Gjennomgang av oversikten satt sammen av NGU (se avsnitt 4.3) gir heller ikke inntrykk av at noen hendelser registrert som snøskred eller jordskred i virkeligheten kan ha vært sørpeskred. Dette kan imidlertid ikke utelukkes helt.

Siden bekkeløpene der sørpeskred i prinsippet kan inntreffe, også er mulige flomskredbaner, og det er en del historikk for flomskred i området, blir disse behandlet som områder med flomskredproblemstillinger (diskutert i avsnittet om løsmasseskred), og ikke sørpeskred.

5.2.3 Løsmasseskred

Både fjellsiden i nord og den i sør er bratte og dekket av morene og/eller skredmaterialer. Begge har historikk for jordskred og flomskred, og det er av NGU kartlagt store skredavsetninger i foten av skråningene. Relativt mye av bebyggelsen og industriområdet ligger på skredavsetninger.

Vi vurderer at både jordskred i åpne skråninger og flomskred, spesielt langs bekkene nevnt i avsnittet ovenfor, har relevans for 1000 års faresone i dette delområdet. Vi mener videre at NGUs faresoner fra 2004 godt representerer farebildet. Faresonen som presenteres med denne rapporten, følger derfor i hovedsak NGUs faresone, men stedvis justert for i forhold til kartlagte skredavsetninger eller etter resultater av flomskredmodellering utført med modeller som ikke var tilgjengelige i 2004 (RAMMS::Debris Flow, Christen, 2012).

5.2.4 Skred i fast fjell

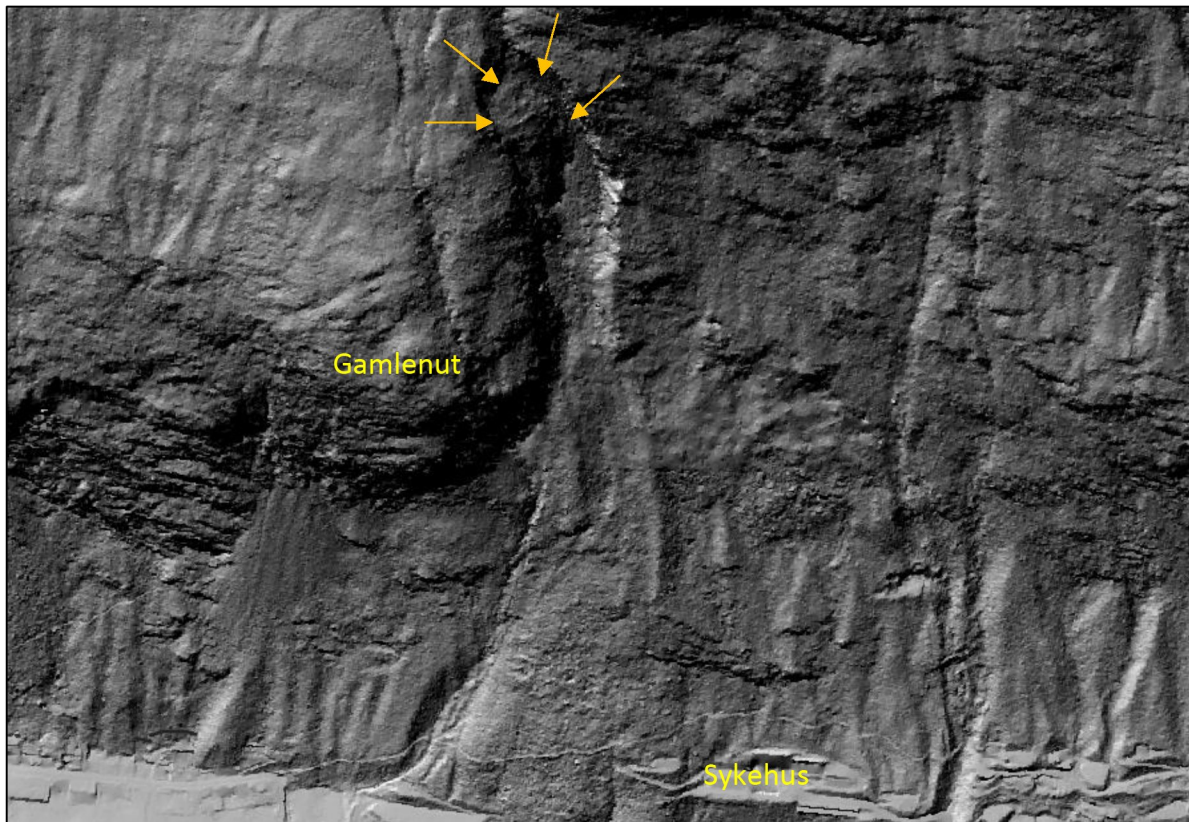
Utfall av steinblokker krever skrenter med blottet fjell og helning over 40 - 45°. Det er svært mye terreng som kan gi steinsprang og steinskred i dette delområdet, og disse prosessene er trolig de som inntreffer oftest av de vurderte skredtypene.

Når det gjelder fjellsiden i nord, er steinsprang- og steinskredpotensialet spesielt stort i fjellsiden nedenfor og like vest for solspeilet, dvs. ovenfor deler av Skriugata. Der er det kraftig oppsprukne fjellpartier med mange delvis avløste blokker på flere titalls kubikkmeter (Figur 4 og 5 i Vedlegg 5). Noen blokker er sikkert på flere hundre kubikkmeter. Hvorvidt disse bare vil gi steinsprang eller steinskred, for eksempel ved at utfall av enkelte blokker setter større partier i bevegelse, er umulig å vite. Vi støtter NGIs tidligere vurderinger (NGI rapport 20150300-01) om at hele Skriugata bør sikres, ved oppgradering og forlengelse av det 70 m lange gjerdet som allerede er etablert ovenfor Skriugata 25A – 27B. Kommunen opplyser at de har mottatt tilskudd til sikring fra NVE, og sikring bør iverksettes før 2020.

Det er også et større, tilsynelatende delvis avløst fjellparti rett vest for Kåsåbekk, ved Gampberg (Figur 6 i Vedlegg 5). Der gjelder omtrent samme vurdering som for skrentene ovenfor Skriugata, men vårt inntrykk er at sannsynligheten for større steinskred fra dette partiet i vest er mindre enn ved Skriugata. Ellers kan steinsprang ikke utelukkes noe sted i fjellsiden i nord.

Videre mener vi at det er stort steinsprang- og steinskredpotensial i fjellhammeren rett øst for solspeilet (Gamlenut), som også indikert av den store steinura ned mot bebyggelsen. På østsiden av Gamlenut kan det være et større ustabil fjellparti, som på skyggekartet synes å ha flyttet seg nedover fra det som antas å være dets opprinnelige posisjon i fjellet (Figur 6). Partiet ser ut å være på ca. 60 x 70 x 70 m, dvs. ca. 300.000 m³, tilsvarende et lite fjellskred. Formen av fjellskrentene rundt partiet og størrelsen på avsetningen nedenfor ser ut å indikere at større volumer tidligere har rast ut derfra. Det er sannsynlig at dette skjedde ved større steinskred, og ikke bare ved mange steinsprang over tid. Vi kjenner ikke til at NGU

eller NVE har vurdert dette fjellpartiet. Vi anbefaler derfor direkte målinger eller fjernmålingsanalyser (eks. InSAR) for å vurdere om det er bevegelser. Basert på modellering utført for steinsprang virker det usannsynlig at et eventuelt steinskred derfra direkte berører sykehuset, men det kan ikke utelukkes på nåværende tidspunkt.



Figur 6: Skyggekart over fjellsiden ved Gamlenut. Pilene viser et mulig ustabil fjellparti.

Rett øst for Gamlenut forventes steinsprang å forekomme ovenfor sykehuset (Figur 12 i Vedlegg 5). Betongmuren bak sykehuset er opparbeidet med jordfylling mot skredsiden (Figur 13 i Vedlegg 5). Den beskjedne høyden av muren og jordfyllingen gjør at vi tviler på at dette sikrer sykehuset mot skred med gjentaksintervall mye større enn noen hundre år, og derfor ligger deler av sykehuset innenfor vår faresone for 1000 års skred, i tillegg til den for 5000 års skred.

Fjellsiden i sør er også karakterisert av store, sammenhengende fjellskrenter med vel utviklet steinur i foten, noe som indikerer relativt hyppig steinsprangaktivitet (Figur 7 - 9 i Vedlegg 5). Dette gjelder i praksis hele sørsiden av dalen i dette delområdet, selv om skråningens profil varierer. Modelleringsresultater indikerer potensielt langt utløp ned til dalbunnen. Flere av byggene i industriområdet er kraftige betongkonstruksjoner, som i seg selv trolig kan stoppe blokker opptil noen få kubikkmeter, men trolig ikke volumer og energinivå tilsvarende 5000 års skred uten at byggene får store skader.

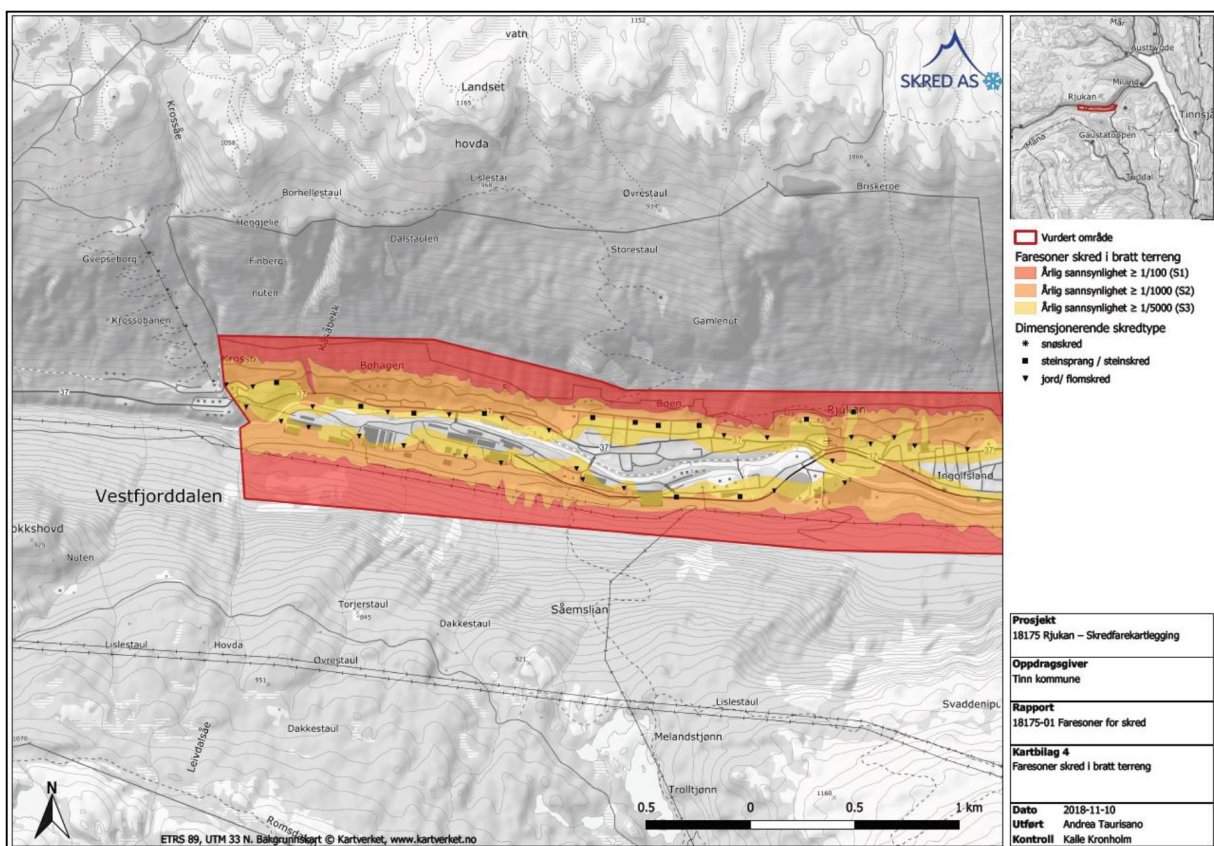
Det er bygd noen sikringstiltak mot steinsprang i denne fjellsiden. Dette inkluderer betongsøyler som støtte til et ustabil fjellparti (Figur 8 i Vedlegg 5), samt en ca. 320 m lang,

1,5 – 2,5 m høy fangvoll ovenfor Vemorksporet og 313-bygget. Kommunen opplyser at dette tiltaket i høsten 2018 skal oppgraderes med 55 m fanggjerdet på 2000 kJ, dimensjonert av NGI (NGI rapport nr. 20179671-01). NGI spesifiserer ikke høyden på fanggjerdet, men vurderer at dette sammen med den eksisterende vollen vil sikre 313-bygget i forhold til 5000 års skred. Vår vurdering er at vollen er for lav til å gi garantier mot 1000 og 5000 års skred, både med tanke på steinsprang / steinskred og løsmasseskred. Faresonene gjenspeiler dette.

Vi har ellers vurdert faresonen fra 2004 for 1000 års skred opp mot resultater av modellering vi utførte med Rockyfor3D (Dorren, 2015), skredhistorikk og sikringstiltakene etablert siden 2004. For å ta hensyn til disse faktorene er det gjort enkelte justeringer av faresonen. Steinsprang er dimensjonerende skredtype i flere deler av faresonen, både i fjellsiden i nord og den i sør.

5.2.5 Faresoner for skred

Alle skredtyper er dimensjonerende for faresonene på ulike strekninger i dette delområdet. Snøskred er spesielt aktuelt i sør, mens de andre skredtypene er like aktuelle i begge dalsider. Faresonene er presentert i Figur 7 og mer i detalj i Vedlegg 4.



Figur 7: Faresoner for skred i delområdet vest, med symboler for dimensjonerende skredtype.

5.2.6 Mulighet for å redusere faresonene

Det er mye bebyggelse innenfor den samlede faresonen for 1000 års skred, spesielt på nordsiden av dalen. Faresonen for 100 års skred er flere steder vurdert å komme ganske nært bebyggelse (eks. Skiugata). Der bør sikringstiltak etableres.

Fangvoller bygd med løsmasser og/eller gabioner, samt fanggjerder, er de mest aktuelle sikringsløsninger. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres.

6 Delområde øst, fra Ingolfsland til Moe Vestre

6.1 Topografi

Terrenganalysen er basert på en terrengmodell med 1 m x 1 m oppløsning fra laserscanning (LiDAR) utført i 2012 og 2017. En liten del av fjellsiden ovenfor dette delområdet er ikke dekket av laserscanningdata. Derfor benyttet vi i tillegg den nasjonale terrengmodellen med 10 m x 10 m oppløsning. Et oversiktskart med terrenghelning beregnet fra den sistnevnte terrengmodellen er vist i Figur 3. Et mer detaljert kart med terrenghelning beregnet fra terrengmodellen med 1 m x 1 m oppløsning er vist i kartbilag 1.

På nordsiden av dalen ligger delområdet i foten av Øverlandsåsen (1174 moh.) og bakenforliggende Dalsnut (1237 moh.). Fjellet har et par fortopper på 1208 moh. og 1151 moh. som ligger ovenfor den østlige delen av delområdet. Denne fjellsiden er i all hovedsak brattere enn 25 - 30° fra rett bak bebyggelsen og opptil ca. 1100 moh., der terrenget flater ut mot de nevnte toppene. Relativt mye av fjellsiden er også brattere enn 45° med nesten vertikale fjellskrenter. De bratteste skrentene finner man spesielt mellom 450 og 750 moh., opptil 950 moh. helt i øst.

På sørsiden av dalen ligger Gaustatoppen, hvis fjellside mot Rjukan er beskrevet i avsnittet ovenfor. Rett øst for Gaustatoppen og Gråsetåe, ovenfor resten av delområdet, er det noen fortopper av Toreskyrkja (1392 moh.), med høyde på 1110, 1186, 1216 og 1354 moh. Her er det kun delen av fjellsiden opptil 600 – 650 moh. som sammenhengende er brattere enn 25 - 30°. I midtre og øvre deler av fjellsiden er terrenget i hovedsak slakere, med kun små lokale terrengpartier brattere enn 25 - 30°. I fjellsiden ovenfor den østlige delen av delområdet ligger en del fritidsbebyggelse, samt Fv651 Svineroivegen, som krysser både de brattere og de slakere deler av fjellsiden flere ganger.

6.2 Skredfarevurdering

6.2.1 Snøskred

Fjellsiden i nord inneholder ingen typiske løснеområder for store snøskred, men det er noen få bratte terrengpartier som, grunnet for lite skog, har noe potensial for snøskred, i hvert fall under ekstreme forhold. Det første av disse partiene ligger rett over skoggrensen på ca. 1000 – 1100 moh. ovenfor Skogveien. Et par andre ligger mellom 950 og 1050 moh. ovenfor Tvergrot og Nedre Dale. For disse løśnieområdene tilsier den manglende skredhistorikken, samt kratt og/eller glissen skog, at sannsynligheten for utløsning er veldig lav. Vår vurdering er at de har betydning for 5000 års faresonen, men bare delvis for 1000 års faresone.

Når det gjelder fjellsiden i sør, er det relativt store løśnieområder for snøskred langs mesteparten av Gaustatoppens nordside, mellom ca. 1000 og 1250 moh. (Figur 18 i Vedlegg 5). Noen av disse ligger i konkavt terreng og delvis i le for fremherskende, vestlige vindretninger. Det ligger også større løøgneområder lenger opp på Gaustatoppen, mellom 1500 og 1850 moh. Disse er nordøstvendt og derfor også i le for vestlige vinder (Figur 19 i Vedlegg 5).

Fra løøgneområdene mot toppen av fjellet skal tørrsnøskred i 1952 ha gått ned ved Svadde. Det skal ikke ha vært første gang. Ifølge opplysninger lagt inn i skredtabasen på NVE Atlas

skal folk på Svadde ha visst om tidligere store skred der, angivelig utløst med mange års mellomrom og etter langvarig vestlig - sørvestlig vind.

Også i senere tid har snøskred gått ned ved Svadde, eks. i februar 1988 og i 2001. Disse gikk trolig fra løsneområdene mellom 1000 og 1250 moh. Ifølge lokalkjente skal skredet i 2001 ha blitt stoppet av en den gang nylig etablert voll ovenfor bebyggelsen. Punktet som viser denne skredhendelsen i NVE Atlas er vilkårlig plassert i Svadde området. Vi er derfor usikre på om dette skredet gikk bak den ca. 200 m lange bueformede fangvollen ovenfor Gyvingjordet 22 – 28. Den vollen skal imidlertid ha vært bygd i 1980-tallet, og ikke i 2001 som antydning av opplysningene i NVE Atlas.

Det er i alle fall ingen tvil om at snøskred under dagens klima- og vegetasjonsforhold fortsatt er en aktuell skredtype på sørsiden av dette delområdet. Faresonen presentert i denne rapporten, der den er dimensjonert av snøskred, følger stort sett den tidligere tegnet av NGU og NGI (NGU, 2004), med justeringer gjort etter resultater av dynamisk modellering eller for å ta eksisterende sikringstiltak i betraktning.

6.2.2 Sørpeskred

Fjellsidene ovenfor dette delområdet har flere bekkeløp der sørpeskred teoretisk kan inntreffe. Eksempler er Geitebekken og noen bekker på begge sider av Øverlandsåsen i den nordlige fjellsiden, samt Nybubekken, Skutebekk, Grosetåe og Storebekk i de sørlige.

Blant de veldig mange skredhendelsene registrert i og rundt Rjukan siden midten av 1600-tallet, er det imidlertid ikke tilfeller av sørpeskred. Gjennomgang av oversikten satt sammen av NGU (se avsnitt 4.3) gir heller ikke inntrykk av at noen hendelser registrert som snøskred eller jordskred i virkeligheten kan ha vært sørpeskred. Dette kan imidlertid ikke utelukkes helt.

Siden bekkeløpene der sørpeskred i prinsippet kan inntreffe, også er mulige flomskredbaner, og det er en del historikk for flomskred i området, blir disse behandlet som områder med flomskredproblemstillinger, og ikke sørpeskred.

6.2.3 Løsmasseskred

Både fjellsiden i nord og den i sør er bratte og dekket av morene eller skredmaterialer. Begge har historikk for jordskred og flomskred, og det er av NGU kartlagt store skredavsetninger i foten av skråningene. Relativt mye av bebyggelsen og industriområdene ligger på skredavsetninger.

Vi vurderer at både jordskred i åpne skråninger og flomskred, spesielt langs bekkene nevnt i avsnittet ovenfor, har relevans for 1000 års faresone i dette delområdet. Det er også veldig mange raviner og tegn på erosjon i nedre del av hele fjellsiden i nord. Disse formene er ikke nødvendigvis i sammenheng med store bekker som kommer ned fra øvre del av fjellet, men det er likevel grunn til å tro at erosjon kan ha skjedd ved utglidninger og flomskred. Dette, kombinert med de kartlagte avsetningene rett nedenfor, ligger trolig bak NGUs tidligere faresoner for løsmasseskred i området (NGU, 2004).

Vi mener at de faresonene fra 2004 godt representerer farebildet. Faresonen som presenteres med denne rapporten, følger derfor i hovedsak NGUs faresone, stedvis justert i forhold til kartlagte skredavsetninger eller etter resultater av flomskredmodellering utført med modeller som ikke var tilgjengelige i 2004 (RAMMS::Debris Flow, Christen, 2012).

Ved Kleiva / Lyngvegen mener vi at 1000 års faresone kommer delvis inn i boligfeltet. Dette fordi det ikke er noe tiltak der som reduserer skredfaren vesentlig i forhold til fjellsiden rett sørvest og nordøst for boligfeltet.

6.2.4 Skred i fast fjell

Utfall av steinblokker krever skrenter med blottet fjell og helning over 40 - 45°. Det er svært mye terreng som kan gi steinsprang og steinskred på begge dalsider i dette delområdet, og disse prosessene er trolig de som inntreffer oftest.

Når det gjelder fjellsiden i nord er det steinsprangpotensiale og -historikk ovenfor Bjørkhaug og Tveitolia. Ovenfor sistnevnte er det nå etablert sikring ved en 230 m lang og 5 – 6 m høy fangvoll (Figur 15 i Vedlegg 5). Vi mener at dette tiltaket virker mot skred med gjentaksintervall opptil flere hundre år, og bare delvis mot 1000 års skred. En liten buffersone er derfor lagt inn mellom vollen og 1000 års faresone.

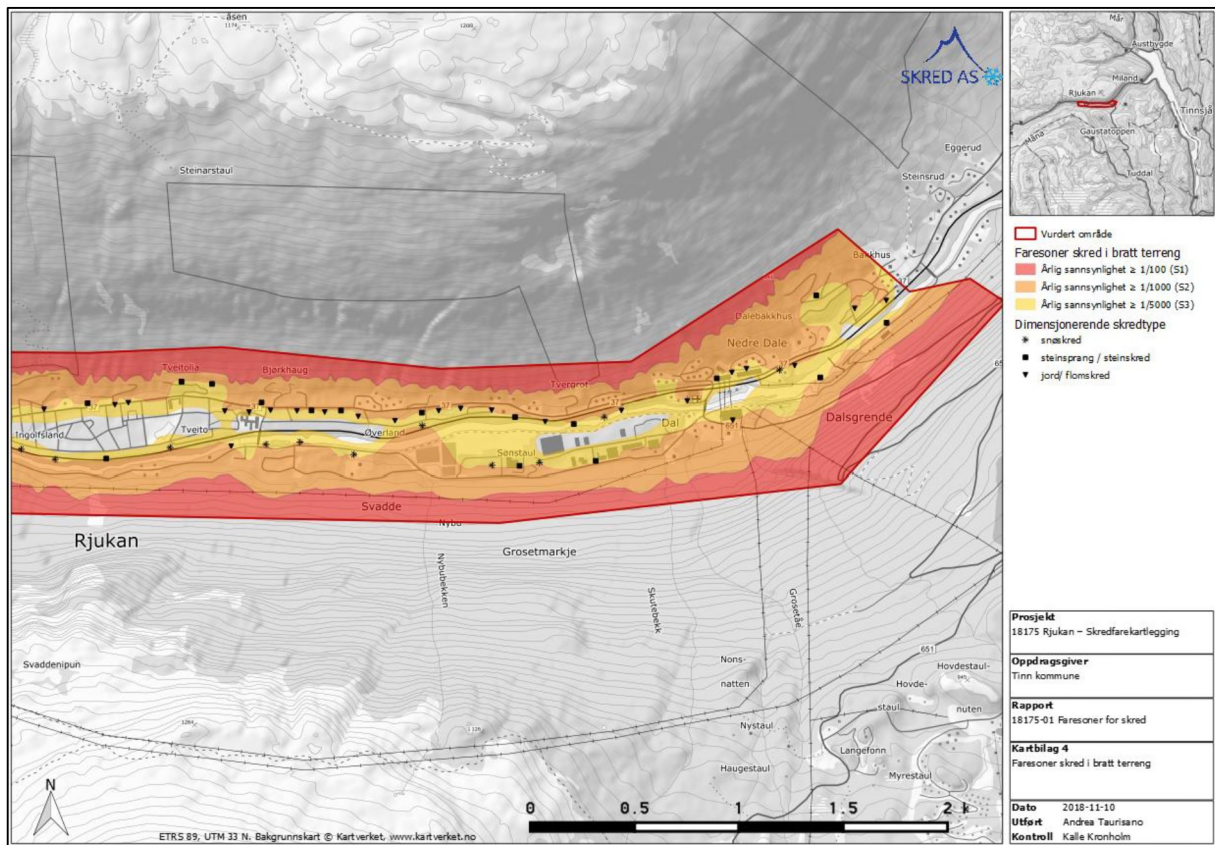
I fjellsiden ovenfor Tvergrot til Nedre Dale er det også stort potensial for steinsprang og steinskred, med tegn på nyere utfall av blokker (Figur 14 og 15 i Vedlegg 5). Steinsprang- og steinskredavsetninger strekker seg i denne delen av kartleggingsområdet helt ned til bebyggelse, med store blokker eksempelvis nede ved Tinn museum. I skrentene ovenfor museet er berget relativt kompakt, men mangler ikke avløste blokker som ventes å falle ut (Figur 16 i Vedlegg 5).

Fjellsiden i sør er også karakterisert av store, sammenhengende fjellskrenter med potensiale for steinsprangaktivitet og tidligere historikk for blokkutfall (Figur 17, 19 og 20 i Vedlegg 5). Dette gjelder i praksis hele sørsiden av dalen vest for Grosetåe. Lenger øst, i skråningen krysset av Fv651, er det bare lokale skrenter.

Modelleringsresultater indikerer potensielt langt utløp for steinsprang ned til dalbunnen. Vi har vurdert faresonen for 1000 års skred fra 2004 opp mot resultater av modellering vi utførte med Rockyfor3D (Dorren, 2015), skredhistorikk og etablerte sikringstiltak. For å ta hensyn til disse faktorene er det gjort enkelte justeringer av faresonen. Steinsprang er dimensjonerende skredtype i store deler av dalsiden i nord og enkelte deler av dalsiden i sør.

6.2.5 Faresoner for skred

Alle skredtyper er dimensjonerende for faresonene i ulike deler av dette delområdet. Snøskred er spesielt aktuelt i sør, mens de andre skredtypene er like aktuelle i begge dalsider. Faresonene er presentert i Figur 8 og mer i detalj i Vedlegg 4.



Figur 8: Faresoner for skred i delområdet øst, med symboler for dimensjonerende skredtype.

6.2.6 Mulighet for å redusere faresonene

Det er mye bebyggelse innenfor den sammensatte faresonen for 1000 års skred, spesielt på nordsiden av dalen. Faresonen for 100 års skred er flere steder vurdert å komme ganske nært bebyggelse. Der bør sikringstiltak etableres.

Fangvoller bygd med løsmasser og/eller gabioner, samt fanggjerder, er de mest aktuelle sikringsløsninger. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres.

7 Konklusjon

Skred AS har på oppdrag fra Tinn kommune kartlagt skredfare i et 8 km langt område i Rjukan. For hele området var det tidligere utarbeidet 1000 års faresoner for de enkelte typer skred i bratt terreng (NGU, 2004).

I forhold til skredfarekartleggingen fra 2004 og de fleste av skredfareutredningene gjennom årene gjort av NGI, har vi i dette arbeidet benyttet høydedatagrunnlag med 1 m x 1 m oppløsning og dynamiske modeller for beregning av skredutløpet. Eksisterende skredfarevurderinger og nyetablerte sikringstiltak er også vurdert.

Rapporten presenterer nye faresoner utarbeidet iht. gjeldende sikkerhetskrav for samtlige sikkerhetsklasser i TEK17, som også leveres digitalt.

Faresonene viser at det til tross for en del sikringstiltak etablert i de siste 20 årene fortsatt er mye bebyggelse som ligger godt innenfor faresone for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000.

På nordsiden av dalen er steinsprang, steinskred, jordskred og flomskred dimensjonerende for 1000 års faresone. På sørsiden av dalen er også snøskred dimensjonerende, spesielt i området ved Svadde.

8 Referanseliste

- Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2010. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Reg. Sci. Technol. 63, 1–14.
doi:10.1016/j.coldregions.2010.04.005
- Christen, M., et al., 2012. RAMMS: Integral hazard management using a unified software environment: numerical simulation tool 'RAMMS' for gravitational natural hazards. 12th Congress INTERPRAEVENT 2012 – Grenoble / France, Conference Proceedings.
- DiBK, 2018. Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK17). Hjemmeside. URL <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/>
- Dorren, L.K.A., 2015. Rockyfor3D (v5.2) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model, ecorisQ paper.
- NGI, 2013. «Skog og skred – Forslag til kriterier for vernskog mot skred». NGI rapport nr. 20120078-01-R.
- NGI, 2015. «Skriugata, Rjukan. Skredsikring». NGI rapport nr. NGI-20150300-01-R.
- NGI, 2017. «313-bygget, Rjukan. Vurdering av skredfare». NGI notat nr. 20170377-01-TN
- NVE, 2015. «Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet». NVE rapport nr. 92/2015.
- NGU, 2004. «Skredfarekartlegging i Vestfjorddalen». NGU rapport 2004-023.
- NGU, 2018a. Nasjonal berggrunnsdatabase. Hjemmeside. URL http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- NGU, 2018b. Nasjonal løsmassedatabase. Hjemmeside. URL <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- NVE, 2018. Skredatlas. Hjemmeside. URL <http://skredatlas.nve.no>
- Tinn kommune. Oversikt skredrapporter for Rjukan. URL <http://www.tinn-kommune.com/Skredrapporter.html>