

Oppdragsgiver	Navn Hol kommune	Kontaktperson Liv A. Lunder
Oppdrag	Nummer og navn 20229 Hol – Skredfarekartlegging av utvalgte områder (Geilo – Ustedalen og Strandavatnet)	Oppdragsleder Andrea Taurisano
Dokument	Nummer 20229-01-1 Utført av Andrea Taurisano	Dato 2020-11-13 Kontrollert av Kalle Kronholm

Skredfarekartlegging i Hol kommune

Sammendrag

Hol kommune har engasjert Skred AS til å utføre en skredfarekartlegging av to større områder med eksisterende bebyggelse, ved Geilo – Ustedalen og langs Strandavatnet, totalt over 15 km dalside. Skredfarekartlegging er utført i forhold til gjeldende krav for sikkerhetsklasse S1, S2 og S3 i TEK17 § 7-3 med veileder.

Som en del av skredfarekartleggingsarbeidet er det utført feltbefaringer, terrenganalyser basert på nyeste tilgjengelige laserskanningsdata og modellering av skredutløp.

Resultatet av kartleggingen viser at alle skredtyper som forekommer i bratt terreng, dvs. jord- og flomskred, steinsprang og steinskred, snøskred og sørpeskred, er relevante prosesser i de aktuelle fjellsidene.

Snøskred og sørpeskred/flomskred dimensjonerer faresonene de fleste steder, mens jordskred og steinsprang har kun lokal relevans der de øvrige skredtypene ikke er sannsynlige.

Til sammen er det 4 – 5 gårder og 65 – 70 fritidsboliger, samt flere mindre bygg, som ligger innenfor faresone for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000.

De fleste steder vil faresonen kunne reduseres ved hjelp av sikringstiltak, men de generelt høye kostnadene ved sikring gjør det primært aktuelt der flere eiendommer er skredutsatt i samme skråning. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Mål	6
1.3	Forbehold	6
2	Krav til sikkerhet mot skred	7
2.1	Lovverket	7
2.2	Aktuelle krav	8
2.3	Vurderte skredtyper	8
2.3.1	Snøskred og sørpeskred	8
2.3.2	Skred i fast fjell	8
2.3.3	Jordskred og flomskred	9
2.3.4	Skredfare og klimaendringer	9
3	Metodikk for fastsettelse av faresoner for dette oppdraget	10
3.1	Skredhistorikk	10
3.2	Høydemodeller, skyggekart og helningskart	10
3.3	Topografi, vegetasjon og klimaforhold	11
3.4	Feltkartlegging	11
3.5	Registreringskart	14
3.6	Modellering	14
3.7	Beregninger med Rockyfor3d for steinsprang	15
3.8	Beregninger med RAMMS for snøskred	15
3.9	Beregninger med RAMMS for jord-/flom-/sørpeskred	16
3.10	Beregninger med Alfa-Beta metoden for snøskred	16
3.11	Tolkning av modellresultater	17
3.12	Fastsetting av faresoner	17
4	Områdets klimatiske trekk av betydning for skredfarekartlegging	18
4.1	Historisk klima	18
4.2	Fremtidig klima	21
5	Område 1 – Geilo - Ustedalen	23
5.1	Topografi	23
5.2	Geologi	25
5.3	Vegetasjon	25
5.4	Registrerte skredhendelser	26
5.5	Tidligere rapporter	26
5.6	Aktsomhetsområder	26
5.7	Eksisterende skredsikringstiltak	26
5.8	Skredfarevurdering	27
5.8.1	Snøskred	27
5.8.2	Sørpeskred	30

5.8.3	Løsmasseskred	31
5.8.4	Skred i fast fjell	32
5.8.5	Faresoner for skred	32
5.8.6	Skogens betydning for faresonene	33
5.8.7	Mulighet for å redusere faresonene	33
6	Område 2 - Strandavatnet	34
6.1	Topografi.....	34
6.2	Geologi.....	36
6.3	Vegetasjon	36
6.4	Registrerte skredhendelser	37
6.5	Tidligere rapporter.....	37
6.6	Aktsomhetsområder.....	38
6.7	Eksisterende skredsikringstiltak	38
6.8	Skredfarevurdering.....	38
6.8.1	Snøskred	38
6.8.2	Sørpeskred.....	42
6.8.3	Løsmasseskred	43
6.8.4	Skred i fast fjell	43
6.8.5	Faresoner for skred	44
6.8.6	Skogens betydning for faresonene	45
6.8.7	Mulighet for å redusere faresonene	45
7	Referanseliste	46

Figurer

Figur 1:	Oversikt over de kartlagte områdene i Hol kommune.	5
Figur 2:	Månedsnormaler 1961-90 for middeltemperatur. Data fra www.eklima.no	19
Figur 3:	Månedsnormaler 1961-90 for nedbør. Data fra www.eklima.no	19
Figur 4:	Beregnet 3-døgnsnedbør med ulike gjentaksintervaller for vintermånedene november til april. Data fra www.eklima.no	19
Figur 5:	Vindrose for vintermånedene desember til april, for stasjonene Geilo – Geilostølen (A) og Haugastøl (B). Figuren er fra www.eklima.no	20
Figur 6:	Beregnet 1-døgnsnedbør med ulike gjentaksintervaller for sommermånedene mai til oktober. Data fra www.eklima.no	21
Figur 7:	Kartleggingsområde 1 – Geilo - Ustedalen i et flybilde fra www.norgebilder.no	23
Figur 8:	Terrenghelning i dalsiden over kartleggingsområde 1 – Geilo - Ustedalen.....	24
Figur 9:	NGUs løsmassekart for kartleggingsområde 1 – Geilo – Ustedalen (fra www.ngu.no).	25
Figur 10:	Skyggekart som viser skredvollene nedenfor Urunddalen.	27
Figur 11:	Løsneområder i Urunddalen og like vest for det, ovenfor Tufte og Skriuslettane. Skredvollene nedenfor Urunddalen vises delvis nederst i bildet.....	28
Figur 12:	Løsneområder rett øst for Urunddalen, ovenfor Tufte, Sekshus og Flåten.....	29

Figur 13: Faresoner for skred i kartleggingsområde 1 – Geilo - Ustedalen.	33
Figur 14: Kartleggingsområde 2 - Strandavatnet i et flybilde fra www.norgebilder.no.	34
Figur 15: Terrenghelning i dalsiden over kartleggingsområde 2 - Strandavatnet. Nedslagsfelt til de viktigste bekkene som renner gjennom kartleggingsområdet, er også vist, helt eller delvis (blå farge).	35
Figur 16: De høye og bratte fjellsidene ovenfor NV-halvparten av kartleggingsområdet.....	35
Figur 17: NGUs løsmassekart for kartleggingsområde 2 – Strandavatnet (fra www.ngu.no). 36	
Figur 18: Flyfoto over en del av dalsiden sørøst i kartleggingsområdet, som viser tegn på jordskred på 1960-tallet (til venstre, 1966), mye mindre synlige i nyere bilder (til høyre, 2019).	37
Figur 19: Store deler av fjellsiden fra Blåbergi og videre mot nordvest langs Strandavatnet inneholder løснеområder for snøskred, spesielt (men ikke utelukkende) innenfor de markerte ellipsene.....	39
Figur 20: Løснеområder for snøskred ligger i flere høyder på sørsiden av Blåbergi, blant annet i terrengpartiene fremhevet av snøen.....	39
Figur 21: Mulige løснеområder for snøskred i gule ellipser ovenfor Høljegarden og Storestølen. Bekkeløpet til venstre, med snø, kan også fungere som sørpeskredbane.	40
Figur 22: Mulige løśnieområder for snøskred på Leinefjellet, SØ i kartleggingsområdet.	41
Figur 23: Faresoner for skred i kartleggingsområde 2 – Strandavatnet.	44

Tabeller

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfareområde. Fra veileder til byggt teknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2018).	7
Tabell 2: Ideelle og kritiske verdier for vernskog fra PROALP, (NGI, 2012 og NVE, 2015). «Evergreen coniferous forest» tilsvarer barskog. Tabellen er hentet fra NVEs oppsummeringsrapport for skog og skred (NVE, 2015).	12
Tabell 3: Anvendte parametere i RAMMS beregningene for jord-/flomskred og sørpeskred.16	
Tabell 4: Oversikt over de benyttede meteorologiske stasjonene. Stasjonenes plassering i forhold til de kartlagte områdene er vist i Figur 1.	18

Vedlegg

Vedlegg A: Fotobilag

Vedlegg B: Helningskart

Vedlegg C: Registreringskart

Vedlegg D1: Utvalgte modelleringsresultater: RAMMS snøskred

Vedlegg D2: Utvalgte modelleringsresultater: RAMMS sørpeskred

Vedlegg D3: Utvalgte modelleringsresultater: RAMMS jord-/flomskred

Vedlegg D4: Utvalgte modelleringsresultater: Rockyfor3D - Steinsprang

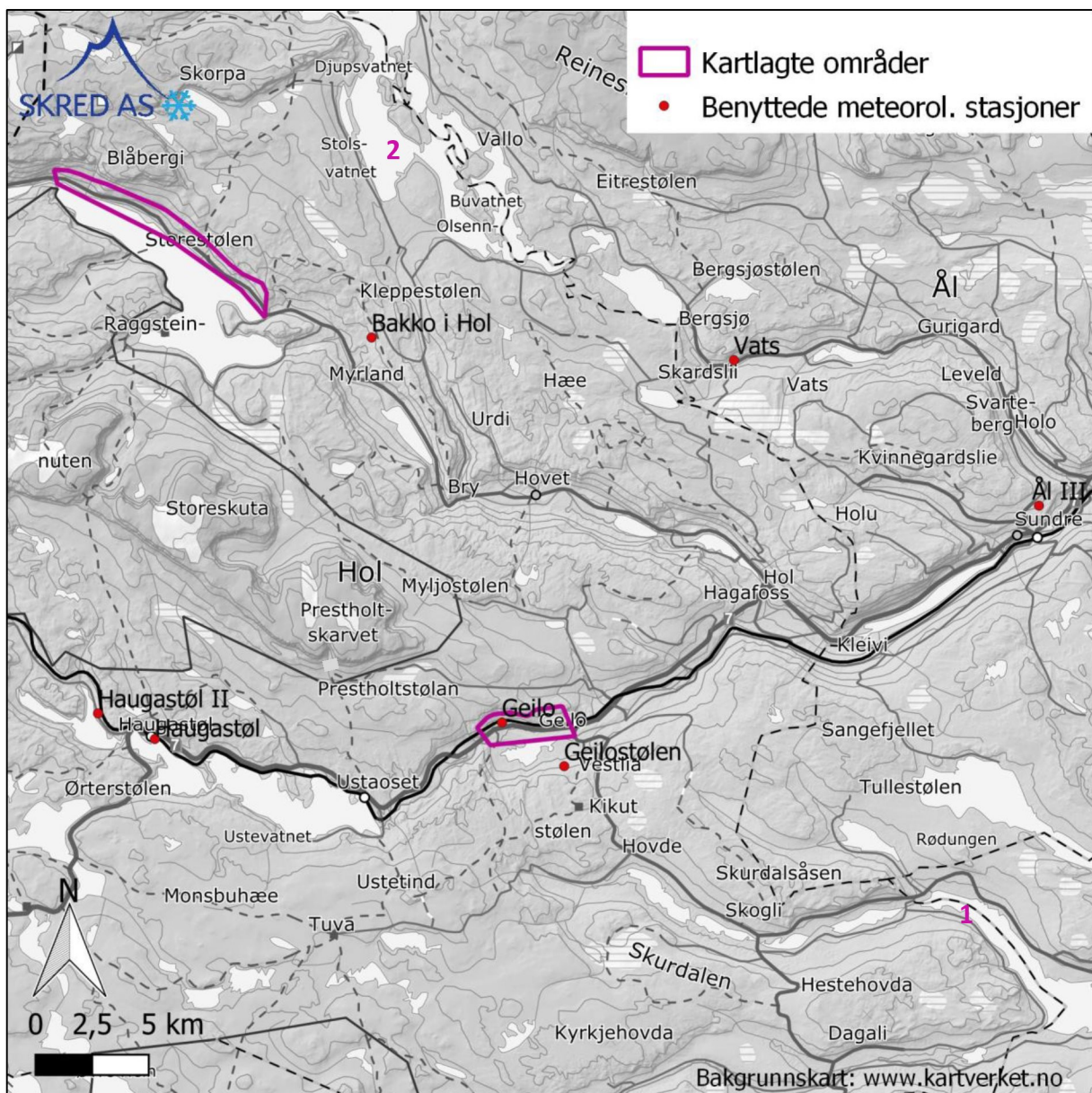
Vedlegg E: Faresoner skred i bratt terreng

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Hol kommune har engasjert Skred AS til å utføre en skredfarekartlegging av to større områder med eksisterende bebyggelse, totalt over 15 km dalside. Kartleggingsområdene er herunder omtalt som *område 1 – Geilo – Ustedalen* og *område 2 – Strandavatnet*. Områdene er vist på oversiktsnivå i figur 1.

Skredfarekartlegging er utført i forhold til gjeldende krav for sikkerhetsklasse S1, S2 og S3 i TEK17 § 7-3 med veileder.



Figur 1: Oversikt over de kartlagte områdene i Hol kommune.

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 § 7-3 med veileder, for samtlige sikkerhetsklasser (S1, S2 og S3) 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 befaringstidspunktet, samt bildemateriale, flyfoto, og kotegrunnlag som var tilgjengelig på vurderingstidspunktet. 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 Lowerket

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 Hol 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 TEK17 og 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 <100 m³) og steinskred (volum 100-10.000 m³). 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 skrånninger 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 skrånninger 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 sideskrånninger 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 befaring.

3.2 Høydemodeller, skyggekart og helningskart

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

Terrenngmodellene 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 terrenngmodellene 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 1B og 2B og er delt inn i følgende klasser:

0° til 10°: kun enkelte løśnieområder for sørpeskred kan forekomme

10° til 20°: mulige løøgneområder for sørpeskred

20° til 27°: mulige løøgneområder for jord-/flomskred og sørpeskred

27° til 37°: mulige løøgneområder for jord-/flomskred og snøskred

37° til 45°: mulige løsneområder for snøskred og jord/flomskred

45° til 55°: mulige løsneområder for steinsprang og snøskred

55° til 90°: mulige løsneområder for steinsprang

3.3 Topografi og vegetasjon

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 en detaljert terrengmodell, ved hjelp av skyggekart avledet fra terrengmodellen, 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 og Kalle Kronholm Skred AS, 25. og 26. juni 2020. Det var klart sommervær med god sikt på befaringsstidspunktet. Befaringen ble gjennomført ved bruk av bil og delvis til fots. En drone med 12 Mpx kamera ble anvendt for observasjon og fotografering av mindre fremkommelige deler av fjellsidene.

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 vurdert i lys av andre lokale forhold, spesielt terrengform og vegetasjon. Den samlede

vurderingen førte til at noen potensielle løснеområder ble avkreftet og fjernet fra kartet, mens noen ble kun vurdert aktuelle for skred med 5000 års gjentakintervall, og andre ble nærmere avgrenset.

For snøskred ble de fleste potensielle løснеområdene vurdert å ha et reelt skredpotensial, med mindre skogen stod tett nok til å forebygge snøskredutløsning iht. anbefalingene gitt i NGI, 2013 og NVE, 2015. Tabell 2 oppsummerer disse kriteriene, som er basert på forskning i Alpene. Trærne skal være minst 5 m høye og ha en diameter på brysthøyde på 12 cm eller mer.

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 løснеområder for snøskred.

Tabell 2: Ideelle og kritiske verdier for vernskog fra PROALP, (NGI, 2012 og NVE, 2015). «Evergreen coniferous forest» tilsvarer barskog. Tabellen er hentet fra NVEs oppsummeringsrapport for skog og skred (NVE, 2015).

Parameter	Forest type									
	Deciduous forest		Mixed forest: deciduous, coniferous trees		Evergreen coniferous forest		Mixed forest larch, stone pine		Larch forest	
	crit.	idea.	crit.	idea.	crit.	idea.	crit.	idea.	crit.	idea.
Crown cover (%)	<80	>80	<70	>70	<35	>50	<30	>50	<35	>50
Stem number per ha	>450	>550	<280	>300	<190	>210	>200	>280	>180	>230
Gap width (m)	>5		>5	none	>10	<5	>10	<5	>10	<10
Ground vegetation (%)	>50	<35	>50	<50						
Slope gradient(°)	>38		>42		>38		>35		>32	

For jordskred er løснеområdene i første omgang definert som alle løsmasseskråninger brattere enn 25°. For de ulike potensielle løснеområdene 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 bekkeerosjon 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 beregnes og 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 noe vekt på manglende historikk for sørpeskred i det kartlagte området. De fleste skredbanene der sørpeskred teoretisk kan inntreffe, er imidlertid også aktuelle for flomskred, og det er i noen tilfeller tegnet faresoner dimensjonert av flomskred der sørpeskred heller ikke kan utelukkes helt, dog med lavere sannsynlighet.

Kildeområder 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 typiske scenarioer (blokker på 1 og 10 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 faresonene, 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 løснеområder, 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 løснеområder 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 løsnedområdene (spesielt ved mange diffuse kilder, for eksempel for steinsprang), dimensjonerende mobiliserbare volumer og materialegenskaper.

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 fjellsidene, 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 scenarioer 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 terrenganalyse 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:
 - o Kildeområde.
 - o Størrelse på steinsprangblokker. Typiske verdier som vi har benyttet, er på 1 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 = 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. Som beskrevet ovenfor er utløpsberegningene vurdert opp mot andre kilder før fastsetting av faresonene.

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.

Løsneområder er definert fra terrengform og beregnet terrenghelning, historisk informasjon, og vurdering i felt av blant annet vegetasjon. Bruddhøyder er variert mellom 1 m for mindre løsneområder og 1,6 m for større og/eller mer konkave løsneområder, dvs. løsneområder med potensial for større skred. Disse verdiene er beregnet med utgangspunkt i 3 døgns vinternedbør med 1000 års gjentakintervall diskutert i avsnitt 4.1, som ved de mest representative stasjonene varierer mellom 70 cm og 105 mm (tilsvarende 70 – 105 cm

nysnø). Disse verdiene er økt med ca. 50% for å ta i betraktning effekten av vindakkumulasjon, samt i noen grad medrivning av snø i skredbanen, som beregningsmodellen ikke inkluderer direkte. Bruddhøyden anvendt for hvert løsneområde er vist i figurene med modellresultater (Vedlegg D). Med disse bruddkanthøydene som utgangspunkt, for definisjonen av friksjonsparametere, har vi kjørt beregninger med friksjonsparametere tilsvarende skred av størrelse «medium» og «large», som definert i RAMMS. Resultater av modellering med første nevnte innstilling («medium») ble det lagt større vekt på for mindre løsneområder, mens resultater med sistnevnte innstilling («large») ble det lagt større vekt på ved alle løsneområder med potensial for større snøskred. Det er ikke utført beregninger for skredvind.

3.9 Beregninger med RAMMS for jord-/flom-/sørpeskred

Modellering av mulig skredutbredelse av løsmasseskred og sørpeskred er gjort med RAMMS Debris Flow (Christen mfl., 2012), versjon 1.7.20. Løsneområdene er definert på to måter:

- Veldefinerte løsneområder i eller ovenfor forsenkninger der flomskred eller sørpeskred mest sannsynlig vil løses ut. Resultatene er brukt til å vurdere mulighet for utbredelse av flomskred og sørpeskred.
- De fleste løsneområdene som ikke er definert i etablerte søkk eller bekkeløp, men i åpne skråninger, er tegnet i områder der det er kartlagt morene, løsmassetypen de fleste jordskred i Norge oppstår i. Løsneområder er også tegnet der terrengeanalysen (dronebilder, flyfoto, skyggekart) viste tegn på tidligere utglidninger.

For begge typer beregninger er innstillingen «block» brukt. Anvendte friksjonsparametere er vist i Tabell 3.

Tabell 3: Anvendte parametere i RAMMS beregningene for jord-/flomskred og sørpeskred.

Skredtype	Oppløsning i terrengmodell	Friksjonsparameter ξ	Friksjonsparameter μ	Høyde blokk
Flomskred og jordskred	2 m og 5 m	100 m/s ²	0,1 – 0,2	1 - 2 m
Sørpeskred	2 m og 5 m	3000 m/s ²	0,05	1 - 2 m

3.10 Beregninger med Alfa-Beta metoden for snøskred

Den statistiske-empiriske Alfa-Beta metoden (Lied og Bakkehøi, 1980) gir en alternativ tilnærming til utfordringen med å anslå det maksimale forventbare utløpet for et skred. Metoden er forskjellig fra de dynamiske modellene nevnt ovenfor i det den ikke er basert på en forenklet modellering av de fysiske prosessene involvert i skredbevegelsen. Metoden gir derimot et estimat av skredutløpet langs en bestemt bane (et profil tegnet i terrenget) basert på enkle regresjonsligninger bygd rundt topografiske / geometriske forhold målt på et antall reelle skredhendelser.

Bruk av Alfa-Beta metoden krever at skredbanen har et jevnt profil som gradvis flater ut i sin nedre del og må tolkes spesielt forsiktig ved «terrasserte» terrengprofiler. Derfor er

metoden kun brukt for utvalgte, egnede skredbaner. Resultatet av modellering med Alfa-Beta metoden er kun brukt som en ytterligere indikasjon på det forventbare maksimale utløp i ulike skredbaner, i tillegg til dynamisk modellering og ofte med noe mindre vekt i totalvurderingen enn på resultater av den.

3.11 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.

3.12 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 Områdets klimatiske trekk av betydning for skredfarekartlegging

4.1 Historisk klima

Vi har utført en analyse av områdets klimatiske trekk med størst betydning for skredfarevurderingen. Analysen er gjort på bakgrunn av data fra Meteorologisk institutt (eklima.no). En utfordring er at de meteorologiske stasjonene har relativt korte dataserier (50 – 123 år) eller ligger for langt fra de kartlagte områdene til å gi representative og robuste analyseresultater. Resultatene av analysen anses derfor som usikre, men gir allikevel den mest objektive informasjon om klimaforholdene i området.

Plasseringen av stasjonene er vist i Figur 1, mens en oversikt over driftsperiode og høyde over havet er vist i Tabell 4.

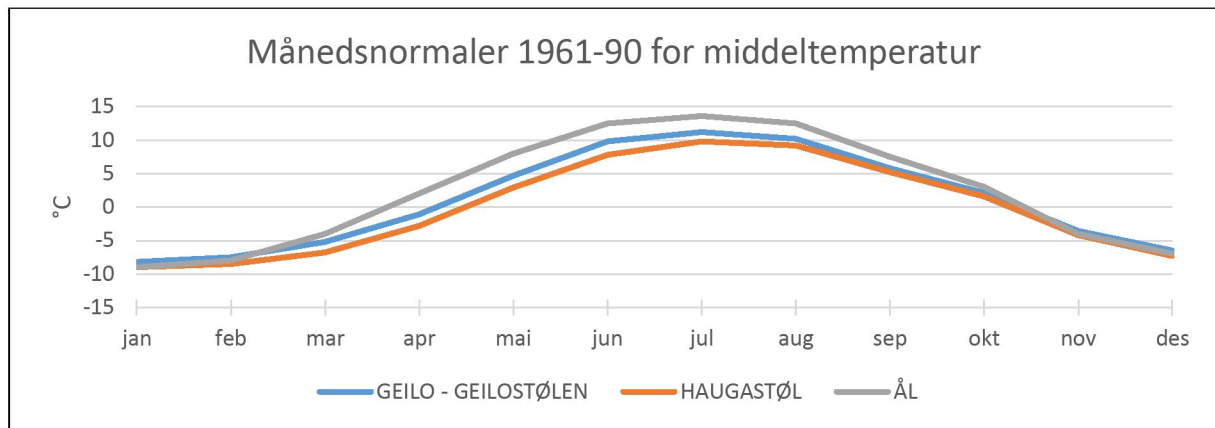
Tabell 4: Oversikt over de benyttede meteorologiske stasjonene. Stasjonenes plassering i forhold til de kartlagte områdene er vist i Figur 1.

St.nr.	Navn	I drift fra	I drift til	Høyde o.h.
25240	VATS	feb 1950	des 2000	800
25320	ÅL III	sep 1949		720
25540	BAKKO I HOL	okt 1949		969
25590	GEILO - GEILOSTØLEN	sep 1966	nov 2005	795
25640	GEILO	jul 1895		841
25720	HAUGASTØL II	jan 1884	jul 1940	996
25730	HAUGASTØL	jan 1886	mai 1976	988

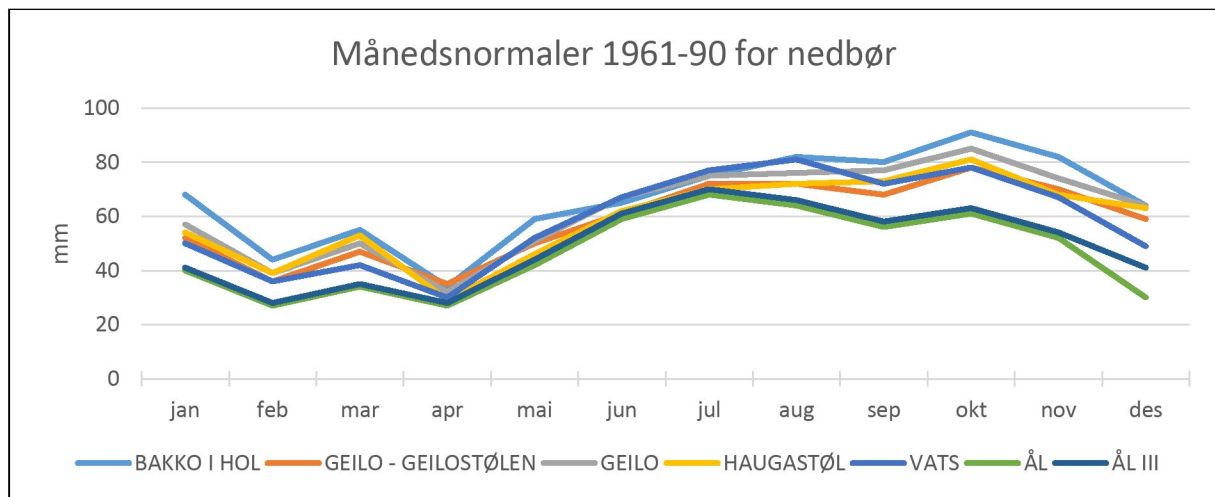
Stasjonene har en normal årsnedbør på mellom 560 mm (Ål) og 799 mm (Bakko i Hol), fordelt over årets 12 måneder som vist i Figur 3. Disse nedbørmengdene er relativt små tatt i betraktning at stasjonene ligger 700 – 1000 moh., noe som betyr at området har et relativt tørt innlandsklima.

For snøskredfarevurderingen er det imidlertid mye viktigere å analysere ekstreme snøfall enn normale nedbørsverdier. Fokuset er spesielt på 3-døgns snøfall med store gjentaksintervaller. Nedbør som faller i fjellet over 700 moh. mellom november og april, antas å komme i form av snø, siden snittemperatur for de månedene er flere grader under null. For disse vintermånedene og ved de benyttede stasjonene er den beregnede 3-døgns nedbør med 1000 års gjentaksintervall på mellom 57 mm (Ål) og 113 mm (Haugastøl II), som vist i Figur 4. Hvis en bare ser på stasjonene som trolig best representerer forholdene i kartleggingsområdene, varierer den beregnede 3-døgns nedbør med 1000 års gjentaksintervall på mellom 70 mm (Bakko i Hol) og 105 mm (Geilo). Disse verdiene blir benyttet som utgangspunkt for modellering av 1000 års snøskred.

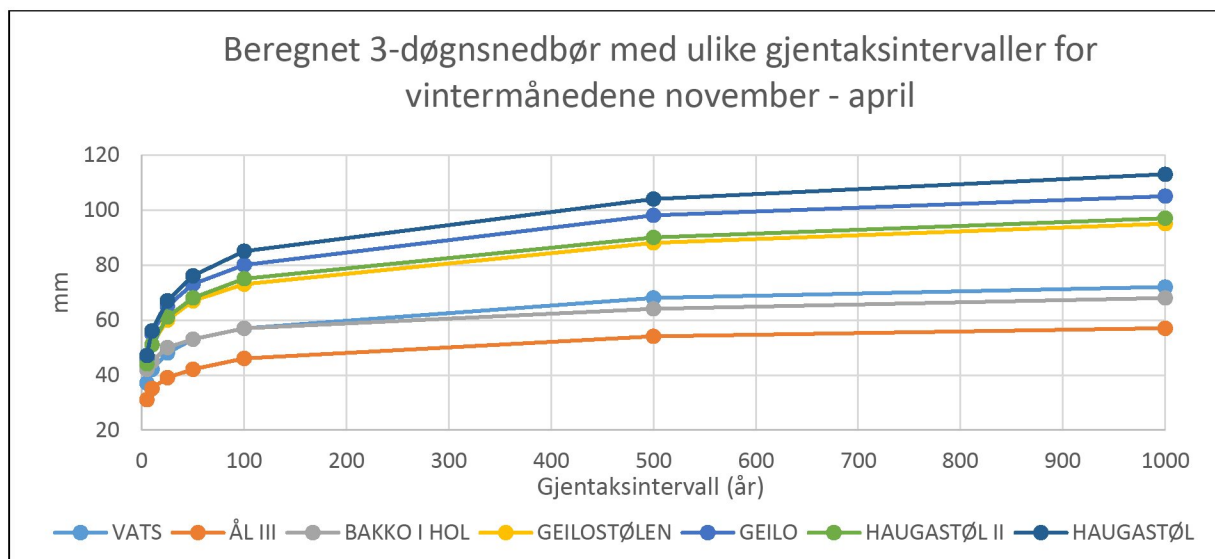
Videre viser Figur 5 at fremherskende vindretninger i de samme vintermånedene er mellom VSV og VNV. Dette stemmer godt overens med lokal kunnskap.



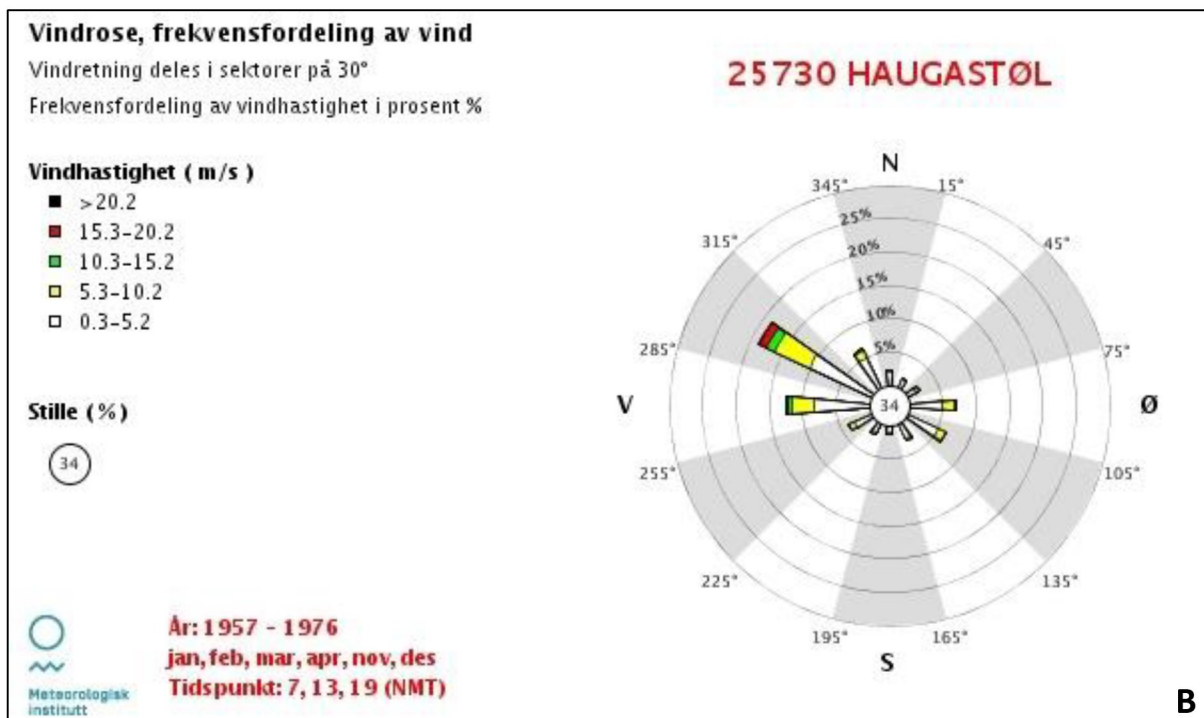
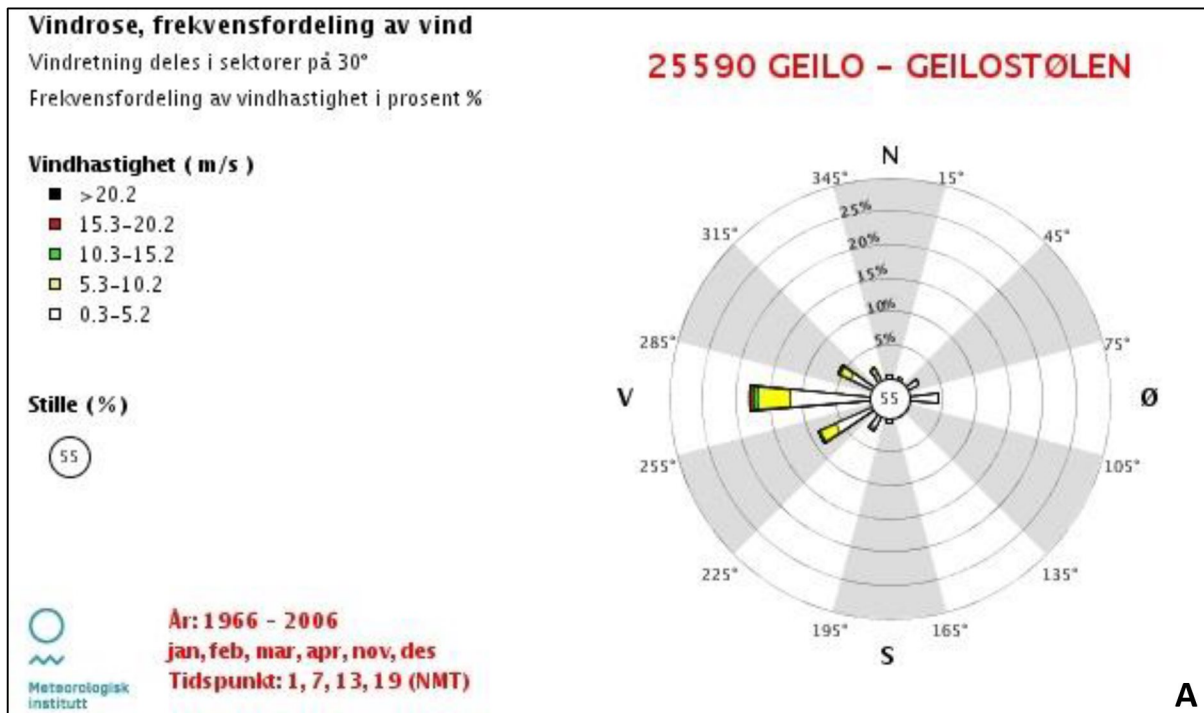
Figur 2: Månedsnormaler 1961-90 for middeltemperatur. Data fra www.eklima.no.



Figur 3: Månedsnormaler 1961-90 for nedbør. Data fra www.eklima.no.



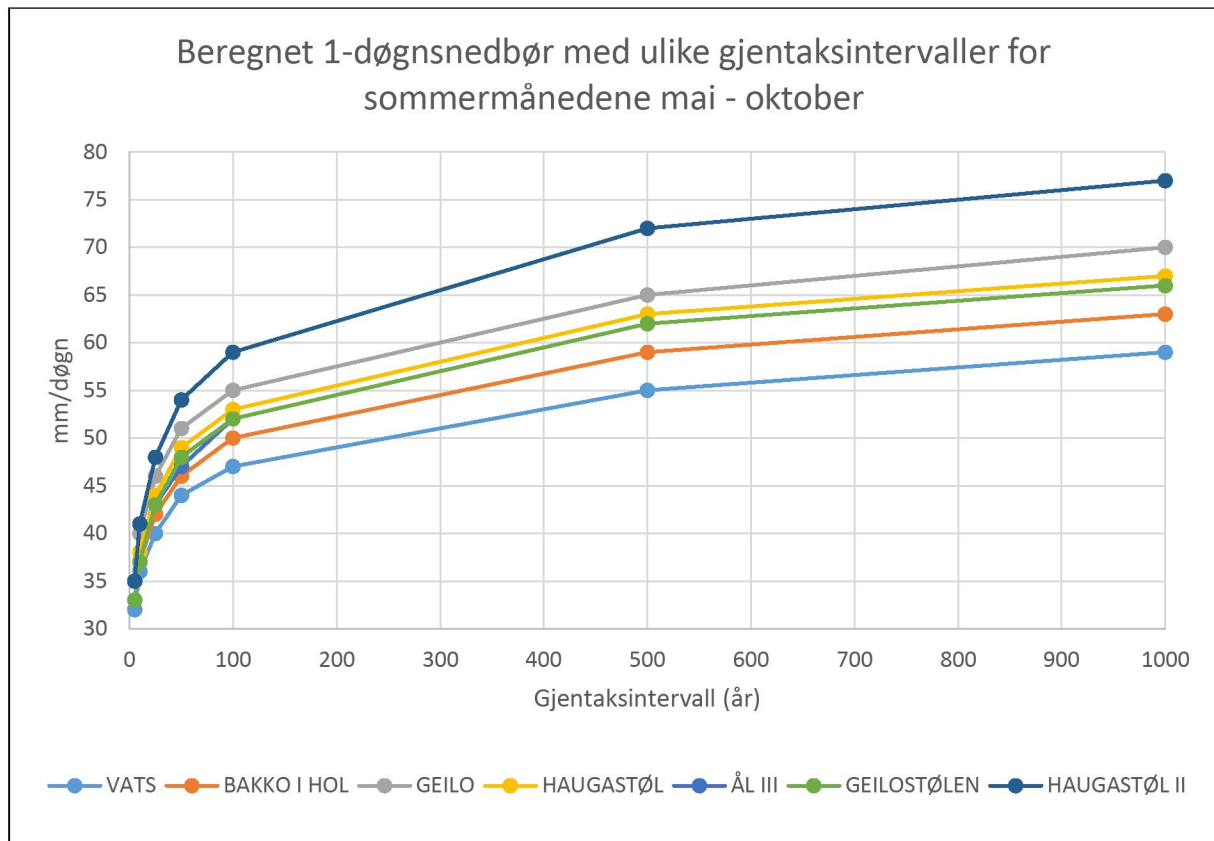
Figur 4: Beregnet 3-døgnsnedbør med ulike gjentakintervaller for vintermånedene november til april. Data fra www.eklima.no.



Figur 5: Vindrose for vintermånedene desember til april, for stasjonene Geilo – Geilostølen (A) og Haugastøl (B). Figuren er fra www.eklima.no.

Lignende analyser, men med fokus på nedbør som kommer i sommerhalvåret, og derfor antatt å være i form av regn, er gjort som grunnlag for vurdering av jord- og flomskredfare.

Studier utført i Norge (Sandersen m.fl., 1996) indikerer at løsmasseskred generelt løses ut ved døgnedbør på min. 8 % av gjennomsnittlig årlig nedbør. I det vurderte området betyr det døgnedbør på 45 – 64 mm. En ekstremverdianalyse lik den ovenfor presentert for snøfall, men utført for nedbør som kommer i form av regn (Figur 6), viser at gjentaksintervallet for en døgnedbør på 45 – 64 mm i vurderingsområdet er på mellom 250 og 1000 år.



Figur 6: Beregnet 1-døgnsnedbør med ulike gjentaksintervaller for sommermånedene mai til oktober. Data fra www.eklima.no.

Sannsynligheten for at en nedbørmengde potensielt i stand til å utløse løsmasseskred forekommer, er ikke er det samme som sannsynligheten for at skred faktisk utløses. Dette gjelder både for jordskred og for snøskred. Sannsynligheten for at de ulike skred utløses er vurdert og beskrevet for hvert område i kapitlene 5, 6 og 7.

4.2 Fremtidig klima

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.

Ifølge Norsk Klimaservicesenter (2016), *Klimaprofil Buskerud*, beregnes det at årstemperaturen i dette innlandsområdet vil øke med ca. 4°C innen 2100, og mest om vinteren (+ 4,5°C). Årsnedbøren vil øke med 15 %, også mest om vinteren (+ 30%).

Sitert fra Norsk Klimaservicesenter (2016):

«Det er forventet at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet i alle årstider. Nedbørintensiteten for døgn med kraftig nedbør forventes å øke med ca. 20 %. For varigheter kortere enn ett døgn, er det indikasjoner på større økning enn for døggnedbør».

«Høyere liggende fjellområder kan få økende snømengder frem mot midten av århundret. Etter dette forventes det at økt temperatur etter hvert vil føre til mindre snømengder også i disse områdene».

«Med et varmere og våtere klima vil det oftere falle regn på et snødekket underlag. Dette kan på kort sikt føre til økt skredfare, men ikke på de store, sjeldne snøskredene som omfattes av aktsomhetskartene. På lengre sikt vil snømengdene bli så redusert at faren for snøskred vil avta».

«Det er særlig grunn til økt aktsomhet mot skredtypene jord- flom- og sørpeskred fordi disse skredtypene kan bli både vanligere og mer skadelige».

Med dagens metodikk for skredfarekartleggingen, er det ikke mulig å beregne et «klimapåslag» for skredstørrelse eller skredutløp og så bruke dette i skredfarekartlegging. Klimautviklingen inngår dermed i en rekke usikkerhetsmomenter som det ikke finnes verktøy for å kvantifisere effekten av, men som vurderes skjønsmessig når en kartlegger skredfare.

5 Område 1 – Geilo - Ustedalen

5.1 Topografi

Det kartlagte området er ca. 4 km langt og strekker seg fra Andreslie og Skarset i vest til toppen av Geilohovda i øst. Geilo stasjon og den østlige delen av Geilo ligger utenfor kartleggingsområdet. Det kartlagte området er vist i Figur 7 og Figur 8. Flere bilder er presentert i Vedlegg 1A.



Figur 7: Kartleggingsområde 1 – Geilo - Ustedalen i et flybilde fra www.norgebilder.no.

Den vestlige delen av kartleggingsområdet ligger langs foten av Fjellstølhovda (1064 moh.) og Vardahovdun (1260 moh.), med en ikke-navngitt, 1119 m høy topp mellom de to fjellene. Kartleggingsområdet fortsetter østover langs foten av Verpehovda (1127 moh.) og en ikke-navngitt, 1158 m høy topp. Enda lenger øst strekker kartleggingsområdet seg i foten av Gullsteinhovda (1110 moh.) og Geilohovda (1077 moh.).

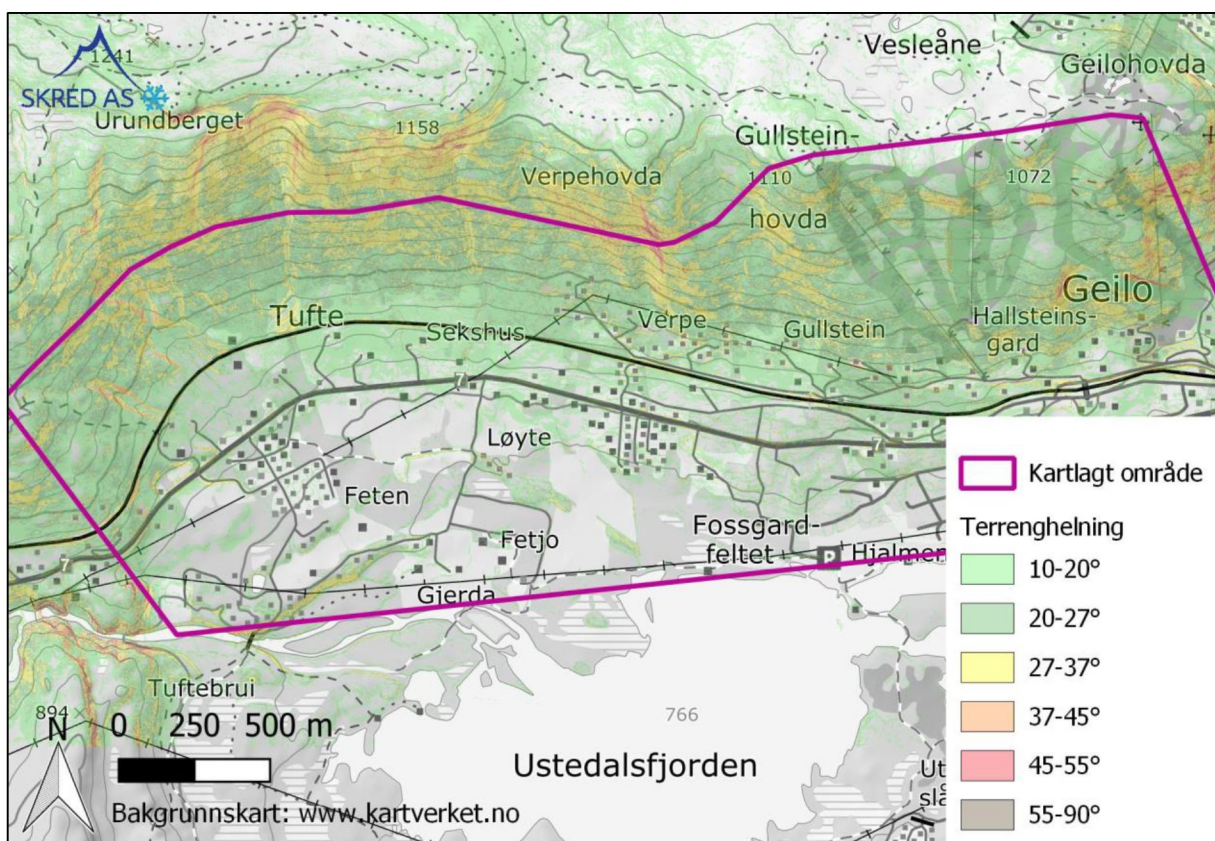
De nederste delene av kartleggingsområdet, ved Ustedalsfjorden, ligger på 766 moh., og dette betyr at skråningene av betydning for denne skredfarevurderingen er ca. 300 – 500 m høye, og er skråningshøyden er størst i vest. Dalsiden i den vestlige delen av kartleggingsområdet er også brattere og mye mer konkav enn dalsiden i den østlige delen av kartleggingsområdet. Disse hovedtrekkene gir den vestlige og den østlige delen av kartleggingsområdet ganske forskjellig skredpotensial, diskutert i detalj i avsnitt 5.8.

Helningsforholdene i dalsiden er illustrert i Figur 8 og Vedlegg 1B.

Terrenget fra Ustedalsfjorden (766 moh.) og opptil ca. 820 moh. er generelt slakere enn 10°. Fra 820 moh. og opptil ca. 900 moh. øker helningen litt, til mellom 10 - 20°. Over 900 moh. er terrengforholdene i den vestlige halvparten av kartleggingsområdet forskjellige fra de i den østlige halvparten.

I vest er det et mer eller mindre sammenhengende, bratt terrengbelte mellom 900 moh. og 1070 – 1170 moh. Terrenget i dette beltet er for det meste mellom 27 - 37° bratt, med noen fjellskrenter brattere enn 45° ved Urundberget (en del av Vardahovdun), Marapiggen og Brennebergi (ved Verpehovda). Over det bratte terrengbeltet flater dalsiden raskt ut til godt under 10 - 20°. I denne delen av dalsiden er det en markert konkavt (dvs. gryteformet) parti som også er veldig bratt, Urunddalen, og flere tydelige søkk i terrenget, hvorav Skriuslettgrove, Bjødnagrove og Øyestølgrove er de største (Vedlegg 1B).

Øst for Verpe er den midtre og øvre delen av dalsiden generelt slakere enn i den vestlige delen av kartleggingsområdet. Det er imidlertid bratte partier med helning 27 - 37° ovenfor Gullstein (sørsiden av Gullsteinhovda), i øvre deler av skianlegget mellom Gullsteinhovda og Geilohovda, og spesielt på sørsiden av Geilohovda, ved den østlige grensen av kartleggingsområdet. Der inneholder fjellsiden også flere skrenter som er brattere enn 45°. I denne delen av dalsiden er det et markert konkavt parti, mellom Verpehovda og Gullsteinhovda, der terrenget imidlertid ikke er brattere enn 27°. Det er ingen markerte søkk som de man finner i den vestlige delen av dalsiden.



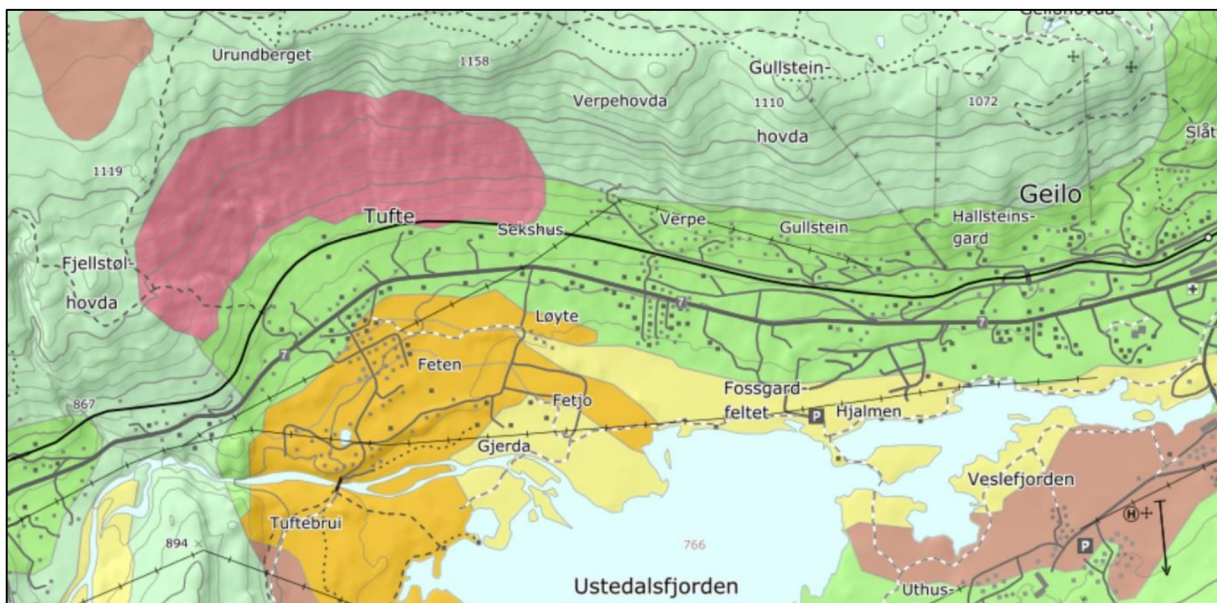
Figur 8: Terrenghelning i dalsiden over kartleggingsområde 1 – Geilo - Ustedalen.

5.2 Geologi

Berggrunnen i fjellsiden er kartlagt i målestokk 1:50 000 og består ifølge NGUs berggrunnsdatabase for det meste av metamorfe bergarter som metaryolitt og metaryodacitt (NGU, 2020a).

Ifølge NGU løsmassekart i målestokk 1:250.000 (NGU, 2020b), er det elve- og breelveavsetninger nede langs Ustedalsfjorden (gule farger i Figur 9), tykt morenedekke i den nederste delen av dalsiden (mørk grønnfarge i Figur 9) og tynn / usammenhengende morene i den øvre delen av dalsiden (lys grønn farge i Figur 9). Bare i vest er det kartlagt skredmaterialer (rødt i Figur 9).

Dette kartet er imidlertid grovt og fanger ikke opp mindre skredvifter og andre skredrelaterte former. Ved hjelp av terrengmodellanalyse, flyfotostudie og befaringsobservasjoner har vi på mer detaljert nivå kartlagt morfologiske elementer av betydning for skredfarevurderingen, vist i Vedlegg 1C og beskrevet som en del av skredfarevurderingene i avsnitt 5.8.



Figur 9: NGUs løsmassekart for kartleggingsområde 1 – Geilo – Ustedalen (fra www.ngu.no).

5.3 Vegetasjon

Dalsiden ovenfor kartleggingsområdet er dekket av lausskog opptil ca. 1000 moh. (Figur 11), med unntak av området med skianlegget i øst, samt tydelige skredløp i den vestlige delen av området, der skogen mangler eller er skadet, stedvis helt ned til dyrkamarka.

Sammenligning av flyfoto fra perioden 1966 – 2019, tilgjengelige på www.norgebilder.no, viser ingen endringer av betydning når det gjelder tettheten av skogen eller den øvre skoggrensen. De nyere bildene viser delvis gjengrodd skog langs flere antatte skredløp i den vestlige og midtre delen av kartleggingsområdet, i forhold til bildene tatt i 1960- og 1970-

tallet. I de løpene kan det altså se ut som store skred skal ha gått ned før 1966, men ikke like store skred etter det året.

5.4 Registrerte skredhendelser

I NVE Atlas (NVE, 2019) er det registrert flere snøskredhendelser i dette kartleggingsområdet, alle i skredbanen som fra Urunddalen går ned mot Bergensbanen. Snøskred gikk over togsporet der i 1936, 1958, 1992 og 1998. I 1992-hendelsen kjørte toget inn i skredmassene, og lokføreren ble skadet. I 2016 skal et nytt snøskred ha gått ned i samme bane, men stoppet mot skredvullen som sist var bygd i utløpsområdet.

5.5 Tidligere rapporter

Skred AS har tidligere utført en rekke skredfarevurderinger i Hol kommune. Blant disse er en skredfarekartlegging av tre større bebygde områder ved Hol, Hovet og Sudndalen, utført i 2019 (Skred AS, 2019).

Skred AS har også utført en skredfarevurdering for detaljregulering av et boligfelt ved Sveinsrud (Skred AS, 2017) og en skredfarevurdering for et påbygg til eksisterende hus i Hegnavegen (Skred AS, 2020).

Den første av de nevnte utredningene gir nyttig bakgrunnsinformasjon for denne rapporten, blant annet en analyse av områdets klimatiske trekk av betydning for skredfarevurderingen.

5.6 Aktsomhetsområder

Store deler av kartleggingsområdet berøres av NVEs aktsomhetssoner for snøskred og de for jord- og flomskred, mens aktsomhetskartet for steinsprang bare viser noen mindre aktsomhetssoner i de bratteste delene av dalsiden (NVE, 2020). NGIs aktsomhetskart for stein- og snøskred er ikke utarbeidet for dette området.

5.7 Eksisterende skredsikringstiltak

NVE Atlas (NVE, 2020) viser ingen skredsikringstiltak i dette kartleggingsområdet.

Under befaringen og ved hjelp av terrengeanalyser har vi imidlertid registrert et skredsikringstiltak bestående av tre voller i midtre og nedre del av skredbanen som går ned fra Urunddalen. Den minste vullen, på ca. 900 moh., er bare 2 – 3 m høy og helt åpen i den midtre delen av skredbanen («1» i Figur 10). Den midtre vullen, på ca. 870 – 880 moh., er 6 m høy («2» i Figur 10). Den nederste vullen, rett nedenfor den midtre, er ca. 3 m høy («3» i Figur 10). Alle tre voller er bygd litt på skrå i forhold til skredbanen, som om de var tiltenkt en ledevollfunksjon. Vinkelen mellom vollene og skredbaneretningen er imidlertid så stor (>20°) at de i praksis fungerer som fangvoller.

Vi vet ikke om de tre vollene er bygd samtidig eller på ulike tidspunkter. Vi har heller ikke hatt tilgang til prosjekteringsgrunnlaget for disse tiltakene. I hvilken grad vi vurderer disse som effektive sikringstiltak er diskutert i avsnitt 5.8.1.

Vollene er også vist i Figur 4 og Figur 5 i Vedlegg 1A.



Figur 10: Skyggekart som viser skredvollene nedenfor Urunddalen.

5.8 Skredfarevurdering

5.8.1 Snøskred

Relativt store deler av dalsiden ovenfor kartleggingsområdet, og spesielt den vestlige delen av det, er brattere enn 27 - 30°, dvs. bratt nok til å potensielt kunne gi snøskred. Skråningene er bare delvis dekket av lauvskog som oppfyller kriteriene for en skredforebyggende funksjon mot skred (Tabell 2 i avsnitt 3.4). I de øvre delene av dalsiden er det imidlertid mange terrengpartier som er både bratte og ikke skogdekket, der snøskredutløsning er mulig (Figur 1 til Figur 6 i Vedlegg 1A).

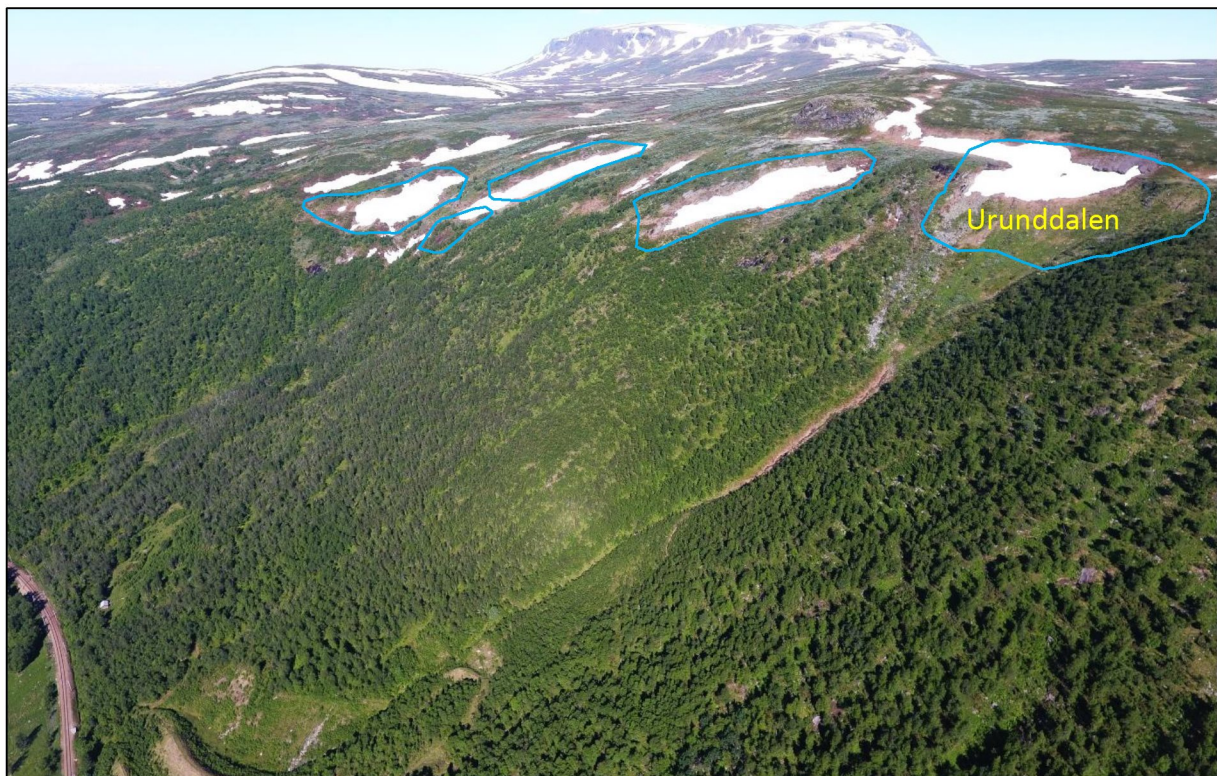
Enkelte løснеområder har en markert konkav form, som er spesielt egnet til å samle store snømengder. Dette er tilfellet i Urunddalen, der det mye historikk for snøskred som har gått over jernbanen, men det er også tilfellet flere steder like vest for Urunddalen, ned mot Skriuslettane. Videre er det flere mulige løснеområder for snøskred øst for Urunddalen, på sørsiden av Marapiggen og Verpehovda. Ytterligere, dog mye mindre løśnieområder ligger på sørsiden av Gullsteinhovda og Geilohovda.

De fleste løøgneområdene vender mot SØ og S, dvs. i le for vind fra NV, mens noen av dem vender mot SV. Terrenget i dalsiden ovenfor løøgneområdene flater ut betraktelig og egner seg til akkumulasjon av store snømengder, som vind fra N og NØ kan remobilisere og frakte inn i løøgneområdene. Når man i tillegg tar i betraktning muligheten for «cross loading», der snø akkumuleres i kupert terreng når vind blåser parallelt med en dalside, betyr dette at alle de identifiserte, potensielle løøgneområdene, under ulike forhold, kan gi snøskred.

Sannsynligheten for at skred blir utløst er naturligvis størst i de mest gryteformede løснеområdene, som også er de med kjent skredhistorikk.

Alle de mest sannsynlige løśnieområdene er avgrenset i registreringskartet (Vedlegg 1C), og noen av dem er også grovt markert i Figur 11 og Figur 12. De er også vist i Figur 1 til Figur 6 i Vedlegg 1A.

For de fleste løøgneområdene vest for Gullsteinhovda vurderes den årlige utløsnings sannsynligheten som større enn 1/100. For løøgneområdene i dalsiden der skianlegget ligger (Geilohovda) vurderes utløsnings sannsynligheten som lavere enn 1/100, men større enn 1/1000. Denne vurderingen er basert på kombinasjonen av relativt liten størrelse av løøgneområdene i ellers skogdekket terreng, topografiske forhold i løøgneområdene og (for flere løøgneområder) effekten av preparering av snøen i bratte deler av nedfartsløyper. Den gunstige effekten av preparering av snøen er vurdert å opphøre - grunnet sannsynlig stenging av skianlegget - når vær- og snøforholdene blir så spesielle at de forekommer sjeldnere enn 1 gang pr. 100. år.



Figur 11: Løøgneområder i Urunddalen og like vest for det, ovenfor Tufte og Skriuslettane. Skredvollene nedenfor Urunddalen vises delvis nederst i bildet.



Figur 12: Løsneområder rett øst for Urunddalen, ovenfor Tufte, Sekshus og Flåten.

For alle løsneområdene er det utført beregninger av snøskredutløp med den vel utprøvde programvaren RAMMS (Christen m.fl., 2010). Skogen nedenfor løsneområdene, som i noen grad kan bremse snøskred av liten og middels størrelse, er ikke tatt i betraktning. På den andre siden er heller ikke meddriving av snø i skredbanen, som kan øke skredrekkevidden, tatt i betraktning. Øvrige forutsetninger for modelleringsarbeidet er diskutert i avsnitt 3.8.

Enklere estimat av det forventbare snøskredutløpet fra de største skredbanene er også utført ved hjelp av den topografiske/empiriske Alfa/Beta-metoden (Lied og Bakkehøy, 1980).

Utvalgte resultater av modelleringsarbeidet er vist i Vedlegg 1D1. Resultatene fra RAMMS-modellering viser forventet utløp for snøskred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000.

Modelleringsresultater indikerer at snøskred i 6 - 7 forskjellige baner mellom Øyestølgrove i vest og Løyte i øst kan gå over jernbanen og helt ned til Rv.7.

Når det gjelder snøskred fra Urunddalen, der det er bygd skredsikringstiltak, mener vi at et dimensjonerende 1000 års skred ikke er på mindre enn 40 – 45.000 m², muligens større dersom forholdene ligger godt til rette for omfattende meddriving av snø i skredbanen. Våre modellresultater viser imidlertid at selv et snøskred på 22.000 m³, med antatt gjentakintervall på 100 – 200 år, kan gå over jernbanen og nå Rv.7. I denne skredbanen tilsier skredhistorikken før sikring (minst 4 store skred over jernbanen på 100 år) at gjentakintervallet for skred med et så langt utløp må ha vært på 20 – 30 år. Våre vurderinger og modellresultater tilsier at den årlige sannsynligheten for skred over

jernbanen etter sikringstiltaket i beste fall er senket til 1/100. Den begrensede effekten av eksisterende sikringstiltak skyldes etter vår mening at vollene, med høyde på 2 – 6 m, er altfor lave. Vinkelen mellom vollene og skredbanen er på 70 – 80 grader, dvs. mye nærmere det som er typisk for fangvoller (90 grader) enn det som er anbefalt for ledevoller (10 - 20 grader).

Vel fungerende fangvoller bygd i områder med høy skredhastighet, slik det er tilfelle ved Urunddalen, er typisk 12 – 20 m høye, og kraftigere enn de eksisterende vollene i denne skredbanen. Videre tyder våre modellresultater på at den svake ledevolleeffekten tiltakene har, som leder noe av skredmassene mot sørvest, i noen grad øker skredfaren for gården Skriuslettane, i forhold til det som det naturlige skredutløpet uten voller ville tilsi.

Det er til sammen 4 – 5 gårder og 4 – 5 hytter som vi mener har en årlig sannsynlighet for skader fra snøskred større enn 1/1000 i dette kartleggingsområdet. De fleste ligger i området nedenfor Urunddalen.

5.8.2 Sørpeskred

Fjellsidene over dette kartleggingsområdet har flere bekkeløp der sørpeskred teoretisk kan inntreffe. Dette er bekker som drenerer relativt store høyfjellsområder preget av slakt, lokalt myrlendt og konkavt terreng over skoggrensen. Slikt terreng egner seg godt til å akkumulere store snø- og vannmengder. Dette gjør slike bekker til mulige løsneområder og løp for sørpeskred, dog under sjeldne forhold. Dette gjelder spesielt for bekkene som renner i Bjødnagrova (Tuftelie), Øyestølgrova, Skriuslettgrova og Urunddalen, samt i litt mindre grad en bekk som renner fra Maradokki ned mot Sekshus, og en som renner ned mellom Verpehovda og Gullsteinhovda.

Ved alle disse løpene, og spesielt ved de to vestligste, viser skyggekartet (Vedlegg 1C) at løsmassedekket er blitt erodert ifb. tidligere skråningsprosesser som må ha involvert mye vann, men det er ikke mulig å si i hvilken grad den markerte ravineringsen skyldes flom (dvs. ren erosjon), løsmasseskred og sørpeskred.

Det så langt vi kjenner til ikke historikk for sørpeskred i de aktuelle løpene eller i resten av dalsiden over kartleggingsområdet. Vi vet imidlertid fra tidligere oppdrag at det andre steder i Hol kommune er historikk for sørpeskred (f.eks. ved Tverråslåtta ved Holsfjorden, som ligger litt over en mil unna). Sørpeskredhistorikken der tilsier at områdetets klima og topografi, under sjeldne vær- og snøforhold, kan gi sørpeskred.

For hvert aktuelt løp er det utført modellering av mulig sørpeskredutløp ved hjelp av RAMMS::Debris Flow. Det er forutsatt utløst volumer på mellom 1.000 og 5.000 m³. Disse volumene er muligens noe små i forhold til de tidligere registrert ved store sørpeskred i Norge, men bruk av konservative friksjonsparametere gir lange beregnede utløp og kompensere derfor for det. Øvrige forutsetninger og inngangsparametere er diskutert i avsnitt 3.9. Utvalgte resultater er presentert i Vedlegg 1D2.

Utløpsberegningene viser at sørpeskred fra alle de nevnte løpene kan passere jernbanen og nå Rv.7. Eksisterende bebyggelse ved Nordheim, Skriuslettane, Sekshus og Verpe kan bli berørt.

De modellerte sørpeskredutløpene må ses i sammenheng med den årlige sannsynligheten for at sørpeskred faktisk utløses i de enkelte løpene.

I samtlige løpene nevnt ovenfor mener vi at den årlige sannsynligheten for utløsning av sørpeskred er større enn 1/1000. Det betyr at sørpeskred (inkl. det modellerte sørpeskredutløpet) i det området bidrar til å dimensjonere faresonen for 1000 års-skred.

5.8.3 Løsmasseskred

Dalsiden, spesielt i den midtre og vestlige delen, er bratt og i stor grad dekket av morene, noe som i utgangspunktet gjør jordskred mulig. Langs nesten hele kartleggingsområdet viser skyggekartet spor etter tidligere jordskred, selv om disse generelt er små sår etter utglidninger, og ikke store jordskred (Vedlegg 1C). Bare to mulige skredvifter er kartlagt med en relativ sikkerhet, mens vi nedenfor de fleste andre utglidningstegn ikke har klart å kartlegge tydelige avsetninger. Dette kan være resultatet av bakkeplaneringer og pløying ifb. jordbruk, eller indikere et tilnærmet sammenhengende belte av skredavsetninger, der opprinnelige vifter ikke lenger kan identifiseres tydelig.

Det er imidlertid ikke historikk for jordskred eller flomskred, og dette tilsier at den årlige sannsynligheten for disse skredtypene er relativt lav, trolig så lav at den kun har betydning for 1000 års og 5000 års skredscenarioer.

De viktigste forutsetningene for løsmasseskred, dvs. de bratte skråningene og løsmassedekket, er uansett til stede. Norsk klimaservicesenter (2016) har også kommet med anbefalinger om at en ved dimensjonering og prosjektering som bygger på ekstremnedbør, benytter et 40 – 50% påslag i forhold til beregnede ekstremverdier. Dette fordi dagens klima allerede er våtere enn det normale verdier fra perioden 1961-1990 tilsier.

Vår totalvurdering er derfor at jordskred og flomskred i mesteparten av kartleggingsområdet er aktuelle prosesser, med en årlig sannsynlighet generelt større enn 1/1000.

Som en pekepinn på forventbare utløp av løsmasseskred, er det utført modellering ved hjelp av RAMMS::Debris Flow. Forutsetninger og inngangsparametere er diskutert i avsnitt 3.9. Modellkjøringer har benyttet standard friksjonsparametere for debris flow (flomskred), med erosjonsfunksjonaliteten kalibrert på fast lagrede masser. Dette gjør at skredvolumet øker som resultat av at løsmasser eroderes langs deler av skredbanene der skred har tilstrekkelig høy energi. Modellert jordskredutløp, presentert i Vedlegg 1D3, dekker derfor også mulig utløp av flomskred i de mer kanaliserte banene.

Modellresultatene viser at løsmasseskred enkelte steder kan berøre jernbanen, men sannsynligvis uten å gå helt ned til Rv.7. Den årlige sannsynligheten for dette vurderes å variere lokalt fra større enn 1/5000 (dvs. kun relevans for 5000 års-faresone) til større enn både 1/5000 og 1/1000 (med relevans for 1000 års- og 5000 års-faresone).

Til tross for dette vurderes løsmasseskred bare å dimensjonere S2- og S3-faresonene der det ikke er sannsynlige skredbaner for snøskred, fordi sistnevnte skredtype ellers går lengst, der begge skredtyper er aktuelle.

5.8.4 Skred i fast fjell

Utfall av steinblokker krever skrenter med blottet fjell og helning over 40 - 45°.

I den 4 km lange dalsiden er det kun noen lokale partier som er bratte nok til å kunne gi steinsprang. De aktuelle skrentene ligger ved Urundberget (opptil 25 m høy skrent), ved Maradokki (opptil 15 m høy skrent), ved Brennebergi (opptil 30 m høye skrenter) og på sørsiden av Geilohovda, dvs. ovenfor Raunsgard og helt ved den østlige grensen av kartleggingsområdet (10 – 25 m høye skrenter).

Nedenfor de fleste skrentene er det registrert lokale steinsprangavsetninger i formen av mer eller mindre sammenhengende steinur, og en del steinblokker er registrert i skråningene nedenfor foten av steinura. Disse tolkes som steinsprangblokker som har forsert steinura og kommet lenger ned i dalsiden.

I henhold til NVEs nettbaserte [veileder](#) gir foten av steinura en omtrentlig indikasjon på utløpet av steinsprang med 100 års gjentaksintervall, mens blokkene som har forsert ura, representerer sjeldnere utfall. Denne tilnærmingen, og den beskjedne størrelsen av kildeområdene i forhold til geometrien av dalsiden mellom disse og bebyggelsen, tilsier at steinsprang ikke er dimensjonerende skredtype, dvs. at utløpet av steinsprang med 1000 års og 5000 års gjentaksintervall ikke direkte berører eksisterende bebyggelse.

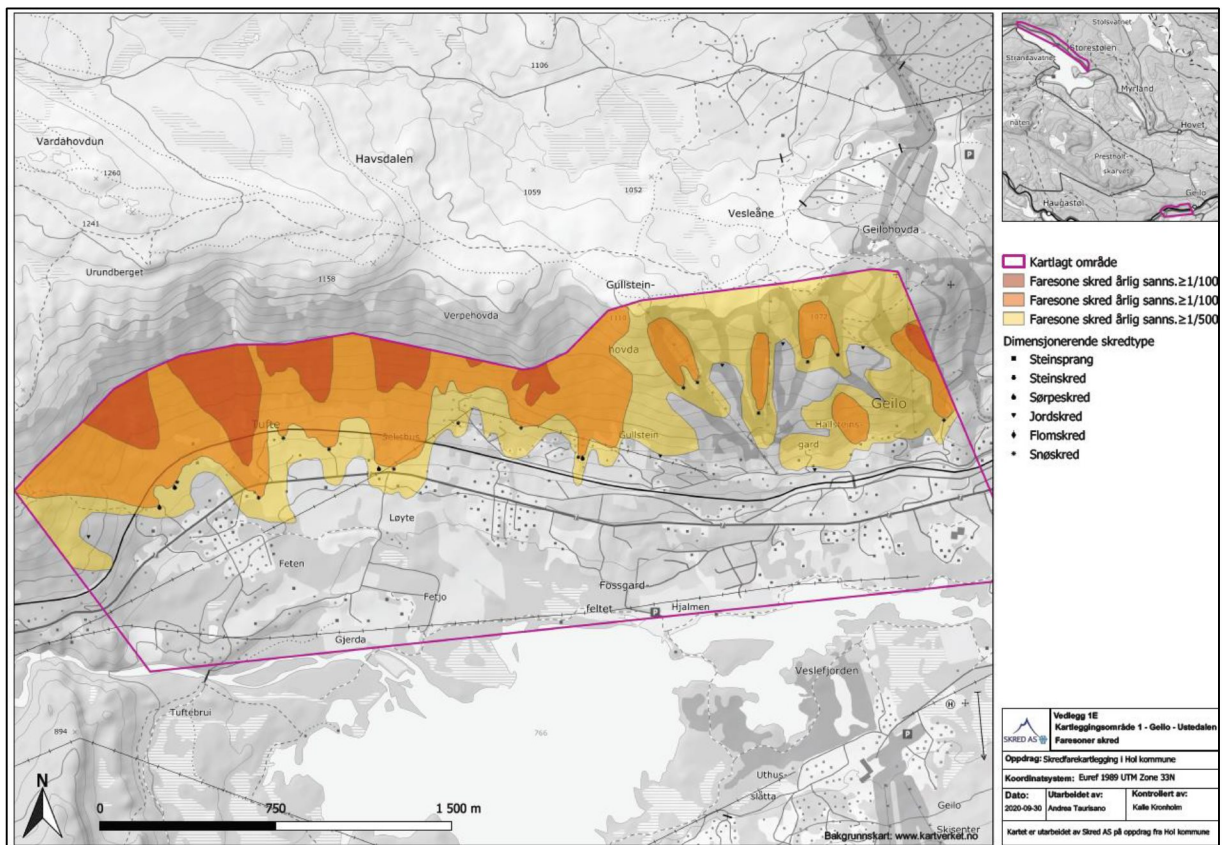
For alle skrenter over 45° helning er det likevel utført utløpsberegninger ved hjelp av Rockyfor3D (Dorren, 2015). Forutsetninger og inngangsparametere er diskutert i avsnitt 3.7. Utvalgte resultater er presentert i Vedlegg 1D4. Resultater av beregningene, kjørt med konservative inngangsparametere, stemmer ganske godt med de kartlagte, antatte steinsprangblokkene som ligger lengst ned i dalsiden, og bekrefter vurderingen ovenfor.

Vår totalvurdering er at steinsprang og i mye mindre grad steinskred er aktuelle skredtyper i dalsiden, men generelt ikke dimensjonerer faresonene ettersom det finnes andre skredtyper med lenger utløp. Eneste unntak er ved Verpe og Raunsgard, der det ikke finnes andre skredtyper med lik eller større sannsynlighet, og steinsprang dimensjonerer derfor 1000 og 5000 års skredfaresoner.

5.8.5 Faresoner for skred

Alle skredtyper bortsett fra snøskred er dimensjonerende for faresonene på ulike strekninger i dette kartleggingsområdet. Faresonene er presentert i Figur 13 og mer i detalj i Vedlegg 1E.

Det er tre gårder som i varierende grad berøres av faresonen for 1000 års skred i dette kartleggingsområdet, og ei hytte som ligger innenfor faresonen.



Figur 13: Faresoner for skred i kartleggingsområde 1 – Geilo - Ustedalen.

5.8.6 Skogens betydning for faresonene

Lauvskog dekker de nedre og midtre delene av dalsiden, og der reduserer skogen sannsynligheten for utløsning av snøskred og, i mindre grad, jordskred. Eventuelt tap av skog i dalsiden kan således gi nye løснеområder for disse skredtypene, og spesielt snøskred. Utløpet av eventuelle skred utløst der vil imidlertid ikke bli lenger enn det beregnede utløpet av skred fra løsnakeområder som allerede under dagens skogforhold er vurdert som aktuelle. Skredutløpet for samtlige skredtypene diskutert i avsnittene ovenfor, er beregnet uten å ta i betraktning den bremsende effekten av skogen i skredbanene, fordi den bremsende effekten av lauvskog nært den øvre skoggrensen erfaringsmessig er liten.

Dette betyr at eventuelt tap av skogen ikke ventes å gi noen økning av betydning i faresonene. Det er derfor ikke tegnet polygoner for skog som bør vernes eller bevares med hensyn til skredfare.

5.8.7 Mulighet for å redusere faresonene

Det er om lag 10 boliger og fritidsboliger, samt ca. 1 km av Bergensbanen, innenfor faresonen for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000 i dette kartleggingsområdet. Faresonen er i de aktuelle områdene dimensjonert av snøskred og sørpeskred.

Dersom en ønsker å redusere sannsynligheten for skred der, er det mulig å vurdere fysiske sikringstiltak. Løsmassevoller (fangvoller og ledevoller) er de mest aktuelle sikringsløsninger. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres.

6 Område 2 - Strandavatnet

6.1 Topografi

Det kartlagte området er ca. 11,5 km langt og strekker seg langs nordsiden av Strandavatnet, fra vatnets nordlige ende til Leinefjellet i sørøst. Området er vist i Figur 14, Figur 15, Figur 16, og i vedlegg 2A.



Figur 14: Kartleggingsområde 2 - Strandavatnet i et flybilde fra www.norgebilder.no.

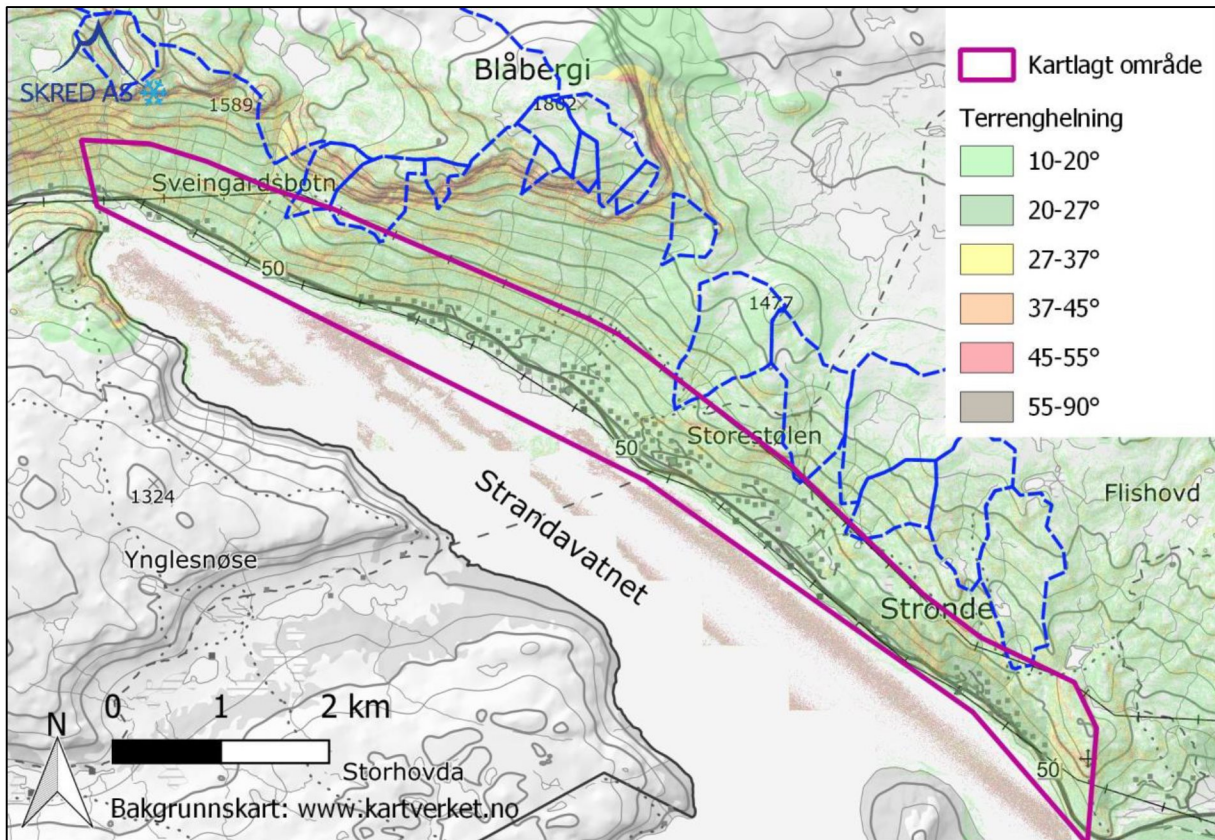
Terrenget i kartleggingsområdet stiger fra Strandavatnet på ca. 963 moh. opp mot fjelltopper som er opptil 1800 m høye. Helningsforholdene i fjellsidene er illustrert i Figur 15 og Vedlegg 2B.

I den nordvestlige halvparten av kartleggingsområdet stiger terrenget fra Strandavatnet på 963 moh. til flere ikke-navngitte fjelltopper på 1625 moh., og videre mot sørøst Tyrvlesnuten (1587 moh.) og så flere 1554 – 1744 m høye fortopper av Blåbergi (1802 moh.), med Blåbergsnuten lengst i øst. I denne delen av dalsiden er det store, sammenhengende terrengpartier som er brattere enn 27°, og spesielt bratt er det mellom 1200 – 1500 moh., der det er store, nær vertikale fjellskrenter. Terrengforholdene i denne delen av dalsiden kan beskrives som utpreget alpine, med store fjellsider som ligger til rette for skredaktivitet (Figur 16).

I den sørøstlige halvparten av kartleggingsområdet stiger terrenget fra Strandavatnet til Nørdre Flishovd (1477 moh.), Søre Flishovd (1416 moh.), Leinefjellet (1209 moh.). Denne delen av dalsiden er, i tillegg til 200 – 500 m lavere, betraktelig slakere enn dalsiden i nordvest. I sørøst er det nemlig kun små, lokale (dog mange) partier med helning over 27°, mens det aller meste av terrenget ligger på 10 – 20° helning.

En rekke bekker renner ned fra fjellsidene og gjennom kartleggingsområdet. De fleste av disse har nedslagsfelt på 0,1 – 0,5 km², som i praksis bare dekker deler av fjellsidene som

vender mot kartleggingsområdet, mens den største, Tyrvla, drenerer et fjellområde på over 8 km² som også inkluderer flere høyt liggende vatn (Figur 15).



Figur 15: Terrenghelning i dalsiden over kartleggingsområde 2 - Strandavatnet. Nedslagsfelt til de viktigste bekkene som renner gjennom kartleggingsområdet, er også vist, helt eller delvis (blå farge).



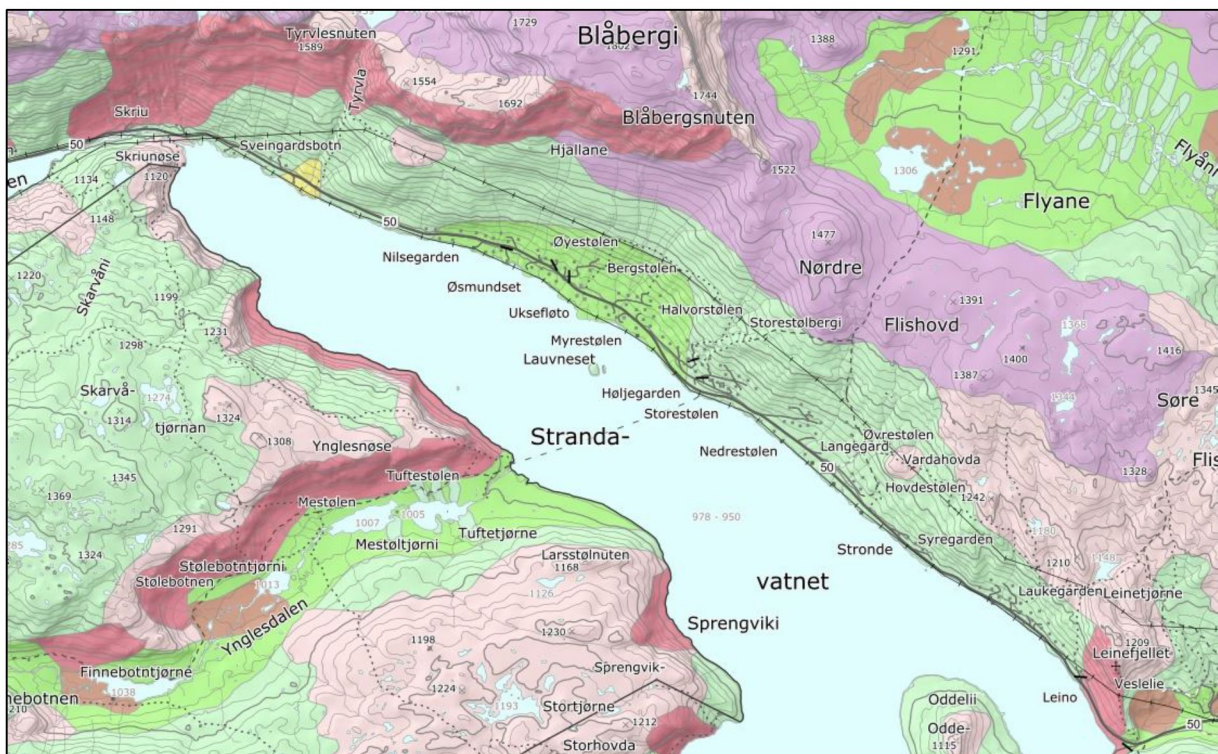
Figur 16: De høye og bratte fjellsidene ovenfor NV-halvparten av kartleggingsområdet.

6.2 Geologi

Berggrunnen i fjellsiden er kartlagt i målestokk 1:50 000 og består ifølge NGUs berggrunnsdatabase av metamorfe bergarter som fyllitt og kvartsskifer, med gneis, migmatitt og mylonitt ved de høyeste fjelltoppene i nordvest (NGU, 2020a).

Ifølge NGU løsmassekart i målestokk 1:250.000 (NGU, 2019b), er dalsiden i hovedsak dekket av tynn morene (lysegrønt i Figur 17), med tykk morene i den nederste delen av dalsiden ved Øvestølen – Halvorstølen (mørkere grønn farge). Høyere deler av dalsiden er ifølge NGUs kart dekket av forvittringsmateriale (lilla farge), skredavsetninger (mørkerosa farge) eller består av fjell i dagen (lyserosa).

NGUs kart er også i dette området grovt og fanger ikke opp mindre skredvifter og andre skredrelaterte former. Ved hjelp av terrengmodellanalyse, flyfotostudie og befaringsobservasjoner har vi på mer detaljert nivå kartlagt morfologiske elementer av betydning for skredfarevurderingen, vist i Vedlegg 2C og beskrevet som en del av skredfarevurderingene i avsnitt 6.8.



Figur 17: NGUs løsmassekart for kartleggingsområde 2 – Strandavatnet (fra www.ngu.no).

6.3 Vegetasjon

Dalsiden ovenfor kartleggingsområdet er ikke i nevneverdig grad dekket av skog, ettersom den strekker seg nesten i sin helhet over 1000 moh. Kun ved den sørøstlige enden av området, dvs. på sørsiden av Leinefjellet, er det litt lauvskog.

Sammenligning av flyfoto fra perioden 1966 – 2019, tilgjengelige på www.norgeibilder.no, viser at skogen på Leinefjellet har etablert seg i de siste tiårene, mens den samme fjellsiden i 1960-tallet var nesten bar.

Sammenligning av de tilgjengelige flyfotoene viser også noen utglidninger, dvs. jordskred, som var ganske ferske i bildene tatt i 1966 og er knapt synlige i nyere bilder (Figur 18). Dette gjelder et område helt sørøst i kartleggingsområdet og et ovenfor Høljegarden i den midtre delen av området.

Synlige tegn på skredaktivitet er i dette kartleggingsområdet begrenset til spor etter jordskred, fordi snøskred i dalsider uten skog ikke etterlater seg varige tegn etter at snø har smeltet.



Figur 18: Flyfoto over en del av dalsiden sørøst i kartleggingsområdet, som viser tegn på jordskred på 1960-tallet (til venstre, 1966), mye mindre synlige i nyere bilder (til høyre, 2019).

6.4 Registrerte skredhendelser

I NVE Atlas (NVE, 2020) er det registrert to snøskredhendelser i dette kartleggingsområdet. Den ene er et mindre, menneskeutløst flaskred fra toppen av Nørdre Flishovd, i desember 2019. Skredet hadde ingen konsekvenser, men indikerer at utløsning av snøskred derfra er mulig. Den andre hendelsen er et snøskred på Fv.50 rett vest for Vesleolagarden i januar 2016. Det er i tillegg registrert flere snøskred på Fv.50 ved Skriu, like vest for den nordvestlige enden av kartleggingsområdet.

6.5 Tidligere rapporter

Skred AS har tidligere utført en rekke skredfarevurderinger i Hol kommune. Blant disse er en skredfarekartlegging av tre større bebygde områder ved Hol, Hovet og Sudndalen, utført i 2019 (Skred AS, 2019). Området ved Sudndalsfjorden i Skred AS rapport fra 2019 har ganske sammenlignbare topografiske og klimatiske forhold, dog motsatt himmelretning ift. det aktuelle kartleggingsområdet langs Strandavatnet. Skred AS rapporten nevnt ovenfor gir

derfor nyttig bakgrunnsinformasjon for denne rapporten, spesielt analysen av områdets klimatiske trekk av betydning for skredfarevurderingen.

Ingen av de øvrige skredfarevurderingene tidligere utført av Skred AS ligger ellers i dette kartleggingsområdet.

6.6 Aktsomhetsområder

Store deler av kartleggingsområdet berøres av NVEs aktsomhetssoner for snøskred og de for jord- og flomskred, mens aktsomhetskartet for steinsprang bare viser noen mindre aktsomhetssoner i de bratteste delene av dalsiden, i nordvest (NVE, 2020). NGIs aktsomhetskart for stein- og snøskred er ikke utarbeidet for dette området.

6.7 Eksisterende skredsikringstiltak

NVE Atlas (NVE, 2020) viser ingen skredsikringstiltak i dette kartleggingsområdet, og ingen sikringstiltak er registrert under befaringen eller ved hjelp av terrengeanalysene. En skredvoll ovenfor Fv.50 er registrert like utenfor kartleggingsområdet, ved nordvestenden.

6.8 Skredfarevurdering

6.8.1 Snøskred

Store deler av dalsiden ovenfor den nordvestlige delen av kartleggingsområdet er brattere enn 27 - 30°, dvs. bratt nok til å potensielt kunne gi snøskred. Skråningene er ikke dekket av lauvskog, og snøskredutløsning er derfor mulig (Figur 1 til Figur 4 i Vedlegg 2A).

Rett utenfor kartleggingsområdet, i nordvest, men også mellom Søre Sveingardsbotn og Vesleolagarden er det historikk for snøskred over Fv.50, og forholdene i hele den nordvestlige delen av kartleggingsområdet er egentlig ganske like. Store snøskred med langt utløp vurderes der å være mulige, selv under vær- og snøforhold som er langt fra ekstreme.

Løsneområdene i denne delen av fjellsiden vender mot SØ, S og SV og kan derfor akkumulere snø - ved direkte snøfall eller vindtransportert snø - under vindretninger fra NV, N og NØ. Den kupert topografien i dalsiden gjør det også mulig med «cross loading», der snø akkumuleres når vind blåser parallelt med dalsiden. Dette betyr at løsneområdene kan gi snøskred under ulike forhold, noe som øker sannsynligheten for at skred faktisk utløses, til godt over 1/100 for de fleste av dem.

Aktuelle løsneområder i denne delen av fjellsiden er vist i registreringskartet (Vedlegg 2C), og noen av dem er også grovt markert i Figur 19 og Figur 20, samt vist i bilder i Vedlegg 2A.



Figur 19: Store deler av fjellsiden fra Blåbergi og videre mot nordvest langs Strandavatnet inneholder løснеområder for snøskred, spesielt (men ikke utelukkende) innenfor de markerte ellipsene.



Figur 20: Løснеområder for snøskred ligger i flere høyder på sørsiden av Blåbergi, blant annet i terrengpartiene fremhevet av snøen.

Dalsiden ovenfor den sørøstlige delen av kartleggingsområdet er generelt mye slakere enn fjellsiden i nordvest, men inneholder svært mange, lokale partier som er brattere enn 27 - 30° og uten skog som kan hindre snøskredutløsningen (Figur 6 – 11 i Vedlegg 2A).

Aktuelle løснеområder i denne delen av fjellsiden er vist i registreringskartet (Vedlegg 2C), og noen av dem er også grovt markert i Figur 21 og Figur 22.

I denne delen av kartleggingsområdet er det ikke opplysninger om snøskred som har gått ned på Fv.50, men ved minst en lokalitet mellom Strønde 19 og 33 er det tydelige tegn i skogen på at skred har gått helt ned til veien, om ikke over den (Figur 18, samt Figur 13 i Vedlegg 2A).

Løsneområdene i denne delen av fjellsiden vender mot S og SV og ligger noe lavere enn de i den nordvestlige delen av kartleggingsområdet. De kan også gi snøskred under ulike forhold, både etter store snøfall og etter vindtransport av snø fra slakere, høyereliggende fjellområder inn i løsneområder, men disse løsneområdene ventes å gi snøskred som ikke når samme størrelse som i nordvest, og heller ikke med samme hyppighet. Selv løsneområdene i den sørøstlige delen av kartleggingsområdet vurderes imidlertid å ha en årlig sannsynlighet for utløsning av snøskred som er større enn 1/1000, og noen av dem også større enn 1/100.



Figur 21: Mulige løснеområder for snøskred i gule ellipser ovenfor Høljegarden og Storestølen. Bekkeløpet til venstre, med snø, kan også fungere som sørpeskredbane.



Figur 22: Mulige løснеområder for snøskred på Leinefjellet, SØ i kartleggingsområdet.

For alle løснеområdene er det utført beregninger av snøskredutløp med den vel utprøvde programvaren RAMMS (Christen, 2010). For løснеområdene som er vurdert i stand til å gi store snøskred, i den nordvestlige delen av kartleggingsområdet, er det forutsatt bruddkanthøyder på 160 cm og friksjonsparametere typiske for store skred (Large, 300 års gjentaksintervall). For løснеområdene i den sørøstlige delen av området, samt de i den nordvestlige med kun potensiale for mindre skred, er det forutsatt bruddkanthøyder på 100 cm og friksjonsparametere typiske for middels-store skred (Medium, 300 års gjentaksintervall). Øvrige forutsetninger for modelleringsarbeidet er diskutert i avsnitt 3.8.

Den topografiske/empiriske Alfa/Beta-metoden (Lied og Bakkehøi, 1980) er ikke anvendt i dette kartleggingsområdet, fordi punktet der fjellsiden flater ut til 10° helning (dvs. Beta-punktet) generelt ligger like ved Strandavatnet, og da vil alle tre beregnede utløpspunkter ligge ute på vatnet.

Utvalgte resultater av modelleringsarbeidet er vist i Vedlegg 2D1. Resultatene fra RAMMS-modellering viser forventet utløp for snøskred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000. Enda mer ekstreme 5000 års hendelser vil da gå enda lenger ut, mens hyppigere skred har kortere utløpslengde.

Modelleringsresultater indikerer at snøskred nesten overalt vest for Bergstølen kan gå over Fv.50 med en årlig sannsynlighet større enn 1/1000. Ca. 20 – 25 hytter ligger innenfor det beregnede utløpet av 1000 års snøskred i denne delen av kartleggingsområdet.

Øst for Bergstølen blir dalsiden litt lavere og mindre bratt, og der, selv et stykke opp i dalsiden, er det flere områder som ligger utenfor det beregnede utløpet av 1000 års snøskred. Det er imidlertid også enkelte baner der snøskred kan nå Fv.50, f.eks. mellom Bergstølen og Halvorstølen, mellom Storestølen og Nedrestølen, og i nærheten av Laukegarden og Leino helt i sørøst. Om lag 15 – 20 hytter ligger innenfor det beregnede utløpet av 1000 års snøskred i denne delen av kartleggingsområdet.

6.8.2 Sørpeskred

Fjellsidene over dette kartleggingsområdet har flere titalls bekkeløp der sørpeskred teoretisk kan inntreffe. Noen av dem er vist i Figur 1, 3, 5, 7, 10 og 11 i Vedlegg 2A.

Noen av disse er bekker som drenerer relativt store høyfjellsområder er preget av slakt, lokalt konkavt terreng langt over skoggrensen. I slike bekker kan sørpeskred utløses etter vannmetning av snøen ved f.eks. oppdemning av dreneringsveier. Eksempler på disse bekkene er der Tyrvla renner, og flere bekker mellom Halvorstølen og Laukegarden i SØ. Andre aktuelle sørpeskredløp i kartleggingsområdet (spesielt i nordvest) er bekker med veldig små nedslagsfelt som inkluderer bratte fjellsider, der sørpeskred kan oppstå ifb. våtsnøskred.

Kartleggingsområdet ligger ellers i sin helhet i høyfjell, der store snømengder dekker terrenget i halvparten av året. En mye lenger sesong med forhold som ligger til rette for sørpeskred, gir en generelt høyere sannsynlighet for den skredtypen enn den er i lavlandet.

Ved de fleste av disse løpene viser skyggekartet (Vedlegg 2C) at løsmassedekket er blitt erodert ifb. tidligere skråningsprosesser som må ha involvert mye vann, men det er ikke mulig å si i hvilken grad ravineringen skyldes flom (dvs. ren erosjon), løsmasseskred og sørpeskred. Det mest sannsynlige er at alle tre typer prosesser medvirket.

Det er så langt vi kjenner til ikke historikk for sørpeskred i de aktuelle løpene eller i resten av dalsiden over kartleggingsområdet. Sørpeskredhistorikken fra andre steder i Hol kommune bekrefter imidlertid at området klima og topografi, under visse vær- og snøforhold, kan gi sørpeskred.

For hvert aktuelt løp er det utført modellering av mulig sørpeskredutløp ved hjelp av RAMMS::Debris Flow. Det er forutsatt utløst volumer på mellom 1.000 og 5.000 m³. Disse volumene er muligens noe små i forhold til de tidligere registrert ved store sørpeskred i Norge, men bruk av konservative friksjonsparametere gir lange beregnede utløp og kompenserer derfor for det. Øvrige forutsetninger og inngangsparametere er diskutert i avsnitt 3.9. Utvalgte resultater er presentert i Vedlegg 2D2.

Utløpsberegningene viser at sørpeskred fra alle de nevnte løpene kan passere Fv.50. Minst 15 hytter kan bli berørt av sørpeskredutløpet.

De modellerte sørpeskredutløpene må ses i sammenheng med den årlige sannsynligheten for at sørpeskred faktisk utløses i de enkelte løpene.

I samtlige løpene nevnt ovenfor mener vi at den årlige sannsynligheten for utløsning av sørpeskred er større enn 1/1000. Det betyr at sørpeskred (inkl. det modellerte sørpeskredutløpet) i de områdene bidrar til å dimensjonere faresonen for 1000 års-skred.

6.8.3 Løsmasseskred

Dalsiden, spesielt i den nordvestlige delen og helt i sørøst, er bratt og i stor grad dekket av morene, noe som i utgangspunktet gjør jordskred mulig. I de to delområdene, i NV og SØ, er det også mange spor etter tidligere jordskred, selv om disse generelt er små sår etter utglidninger, og ikke store jordskred (Vedlegg 2C). Et titalls mulige jord- og flomskredvifter er kartlagt med en relativ sikkerhet, mens vi nedenfor de fleste andre utglidningstegn ikke har klart å kartlegge tydelige avsetninger. Det er dog mulig at snøskred og sørpeskred også har bidratt til oppbygging av de kartlagte viftene.

Det er imidlertid ikke historikk for jordskred eller flomskred, og dette tilsier at den årlige sannsynligheten for disse skredtypene er relativt lav, trolig så lav at den kun har betydning for 1000 års og 5000 års skredscenarioer.

De viktigste forutsetningene for løsmasseskred, dvs. de bratte skråningene og løsmassedekket, er uansett til stede.

Som en pekepinn på forventbare utløp av løsmasseskred, er det utført modellering ved hjelp av RAMMS::Debris Flow. Forutsetninger og inngangsparametere er diskutert i avsnitt 3.9. Modellkjøringer har benyttet standard friksjonsparametere for debris flow (flomskred), med erosjonsfunksjonaliteten kalibrert på fast lagrede masser. Dette gjør at skredvolumet øker som resultat av at løsmasser eroderes langs deler av skredbanene der skred har tilstrekkelig høy energi. Modellert jordskredutløp, presentert i Vedlegg 2D3, dekker derfor også mulig utløp av flomskred i de mer kanaliserte banene.

Modellresultatene viser at løsmasseskred enkelte steder (vest for Bergstølen og helt i sørøst) kan gå ned til Fv.50. Den årlige sannsynligheten for dette vurderes å variere lokalt fra større enn 1/5000 (dvs. kun relevans for 5000 års-faresone) til større enn både 1/5000 og 1/1000 (med relevans for 1000 års- og 5000 års-faresone).

Til tross for dette vurderes løsmasseskred bare å dimensjonere S2- og S3-faresonene i noen få mindre strekninger der det ikke er skredbaner for snøskred og sørpeskred, fordi de sistnevnte skredtypene ellers går lengst, der flere skredtyper er aktuelle.

6.8.4 Skred i fast fjell

Utfall av steinblokker krever skrenter med blottet fjell og helning over 40 - 45°.

I den over 11 km lange dalsiden er det svært mange, og i nordvest også store og sammenhengende fjellskrenter som er bratte nok til å kunne gi steinsprang.

I den nordvestlige delen av kartleggingsområdet, fra Blåbergsnuten til områdets NV-ende, er det både store skrenter over 1300 – 1400 moh. og mindre, lokale skrenter mye nærmere Fv.50. I den sørøstlige halvparten av området er det derimot kun lokale skrenter mellom 1000 og 1200 moh., selv om noen av disse ligger relativt nært hytter og veier.

Nedenfor alle de største skrentene og noen av de mindre er det registrert lokale steinsprangavsetninger i formen av mer eller mindre sammenhengende steinur, samt en del steinblokker i skråningene nedenfor foten av steinura (Vedlegg 2C). Disse tolkes som steinsprangblokker som har forsert steinura og kommet lenger ned i dalsiden. Det er svært mange sannsynlige steinsprangblokker som ikke ble registrert i registreringskartet fordi disse ligger langt innenfor det forventede utløpet av andre, mer dominerende skredtyper, f.eks. snøskred. Mange blokker, spesielt i den nordvestlige delen av området, kan også ha blitt flyttet lenger ned i fjellsiden av store snøskred.

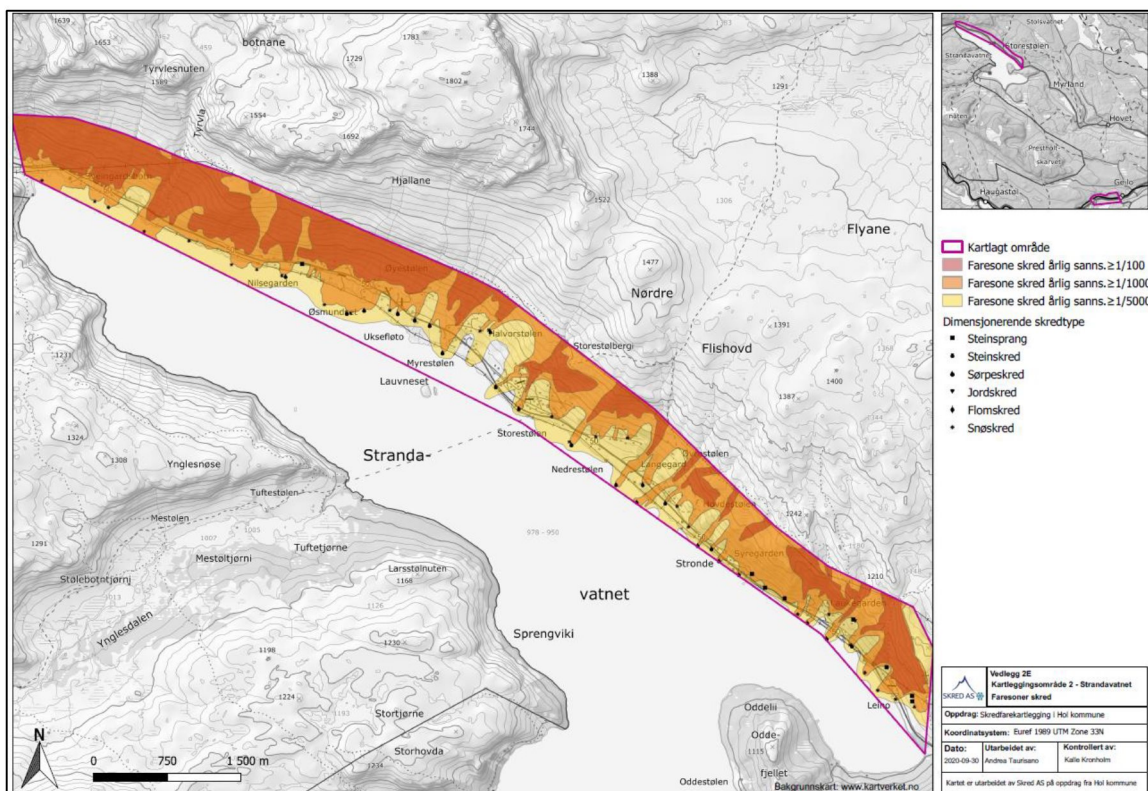
For alle skreter over 45° helning er det utført utløpsberegninger ved hjelp av Rockyfor3D (Dorren, 2015). Forutsetninger og inngangsparametere er diskutert i avsnitt 3.7. Utvalgte resultater er presentert i Vedlegg 2D4.

Vår totalvurdering er at steinsprang og i mye mindre grad steinskrud er aktuelle skredtyper i dalsiden, spesielt i nordvest og helt i sørøst ved Leinefjellet, men at de generelt ikke dimensjonerer faresonene ettersom det finnes andre skredtyper med lenger utløp.

6.8.5 Faresoner for skred

Alle skredtyper bortsett fra snøskred er dimensjonerende for faresonene på ulike strekninger i dette kartleggingsområdet. Faresonene er presentert i Figur 23 og mer i detalj i Vedlegg 2E.

Det er minst 70 hytter som ligger innenfor faresonen for 1000 års skred i dette kartleggingsområdet. Tre av dem ligger også innenfor 100 års skredfarezone.



Figur 23: Faresoner for skred i kartleggingsområde 2 – Strandavatnet.

6.8.6 Skogens betydning for faresonene

Lauvskog dekker kun mindre deler av dalsiden helt i sørøst, og der er den kun stedvis tett nok til å ha en nevneverdig skredforebyggende effekt. Eventuelt tap av skog i de veldig små delene av dalsiden der den i dag forhindrer utløsning av snøskred, kan gi nye løsneområder for denne skredtypen. Utløpet av eventuelle skred utløst der vil imidlertid ikke bli lenger enn det beregnede utløpet av skred fra løsneområder som allerede under dagens skogforhold er vurdert som aktuelle. Skredutløpet for samtlige skredtypene diskutert i avsnittene ovenfor, er beregnet uten å ta i betraktning den bremsende effekten av skogen i skredbanene, fordi den bremsende effekten av mindre flekker lauvskog erfaringsmessig er liten.

Dette betyr at eventuelt tap av skogen ikke ventes å gi noen økning av betydning i faresonene. Det er derfor ikke tegnet polygoner for skog som bør vernes eller bevares med hensyn til skredfare.

6.8.7 Mulighet for å redusere faresonene

Det er noen titalls fritidsboliger, samt flere km av Fv.50, som ligger innenfor faresonen for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000 i dette kartleggingsområdet. Faresonen i de aktuelle områdene er hovedsakelig dimensjonert av snøskred og sørpeskred.

Dersom en ønsker å redusere sannsynligheten for skred der, er det mulig å vurdere fysiske sikringstiltak. Løsmassevoller (fangvoller og ledevoller) er de mest aktuelle sikringsløsninger. Eventuelle sikringstiltak må detaljprosjekteres.

7 Referanseliste

- Asplan Viak, 2013. Hol, Sudndalen – Fare for skred og mulige tiltak for fire tomter. Notat nr. 533068.
- 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, 2019. 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.
- Lied, K. og Bakkehøi, S. 1980: Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *J. of Glaciology*, Vol. 26 No. 94
- NGI, 2008. Skredfarevurdering, Sudndalslia, Hol. Rapport nr. 20081639-01-R.
- NGI, 2012. Skog og Skred. Forslag til kriterier for vernskog mot skred – Del 1. Rapport nr. 20120078-01-R.
- NVE, 2015. «Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet». NVE rapport nr. 92/2015.
- NGU, 2004. «Skredfarekartlegging i Vestfjorddalen». NGU rapport 2004-023.
- NGU, 2019a. Nasjonal berggrunnsdatabase. Hjemmeside. URL http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- NGU, 2019b. Nasjonal løsmassedatabase. Hjemmeside. URL <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- NVE, 2019. Skredatlas. Hjemmeside. URL <http://skredatlas.nve.no>
- Skred AS, 2017. *Skredfarevurdering Sveinsrud, detaljregulering for boligfelt*. Skred AS rapport nr. 17037-01.
- Skred AS, 2019. *Skredfarekartlegging for deler av Hol kommune*. Skred AS rapport nr. 19244-01.
- Skred AS, 2020. Skredfarevurdering for nytt påbygg i Hegnavegen 83. Skred AS rapport nr. 20109-01.