RAPPORT

Faresoner og sikring mot steinsprang fra Tveitanuten, Tyssedal

REVIDERTE FARESONER FOR SKRED I BRATT TERRENG

DOK.NR. 20230370-01-R
REV.NR. 0 / 2024-05-14

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

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

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

Prosjekt

Prosjekttittel:	Faresoner og sikring mot steinsprang fra Tveitanuten, Tyssedal
Dokumenttittel:	Reviderte faresoner for skred i bratt terreng
Dokumentnr.:	20230370-01-R
Dato:	2024-05-14
Rev.nr. / Rev.dato:	0/

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	Ullensvang kommune
Kontaktperson:	Eirik Lia
Kontraktreferanse:	Oppdragsbekreftelse signert 21.06.2023

for NGI

Prosjektleder:	Heidi Hefre
Utarbeidet av:	Heidi Hefre, Ulrik Domaas, Elise Morken og Peter Gauer
Kontrollert av:	Frode Sandersen

Sammendrag

Plan- og bygningsloven (PBL) og Byggteknisk forskrift (TEK 17, kap 7.3) stiller krav til sikkerhet mot naturfare for ny utbygging. Denne utredningen er utført av fagkyndig personell og følger NVEs veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak[1], og vil dermed kunne dokumentere om sikkerhetskravene er oppfylt. Skredtypene snø-, jord-, flom-, sørpe-, steinskred og steinsprang er utredet.

På oppdrag fra Ullensvang kommune har NGI utført en revidert skredfarevurdering for området under Tveitanuten i Tyssedal i Ullensvang kommune. Revisjonen gjelder faresoner fra 2012 utført av NGI på oppdrag fra NVE ifm. statlig kartlegging av Odda kommune.

Bakgrunnen for revisjonen er flere steinsprang fra Tveitanuten hvor steinsprut/flogstein har vært et omfattende problem for bebyggelsen. Flogsteinproblematikk er ikke inkludert i faresonene fra 2012, og kommunen ønsket nå en ny gjennomgang og vurdering av problemstillingen, sett i lys av de siste års hendelser og konsekvenser.

I den reviderte vurderingen er flogstein dimensjonerende for faresonene, da flogstein har lengst utløp. Tiltak i form av fanggjerder mot steinsprang som er oppført i området i 2020/2021 bedrer sikkerheten mot rullende blokker, men er ikke dimensjonert for å stoppe flogstein. De etablerte sikringstiltakene i området påvirker derfor i liten grad de aktuelle faresonene.

Flogstein forstås som en del av steinspranget, og må inkluderes i faresonene etter TEK17 der det kan føre til fare for liv og helse. Flogstein er i første rekke en fare for personer som oppholder seg utendørs, og tomtens tilhørende uteareal er også omfattet av regelverket. Det anbefales ikke å videreutvikle området som er utsatt for flogstein med ny bebyggelse, og i så fall må det gjøres i tråd med teknisk regelverk, hvor S2 bygg kan etableres utenfor faresone 1/100, og S3 bygg kan etableres utenfor faresone 1/1000, dersom man tillater å gå ned en sikkerhetsklasse for tilhørende uteareal, slik loven åpner for.

Eksisterende bebyggelse i området er fra tidlig 1900-tallet, og har ikke eksplisitte krav til sikkerhet, da loven ikke har tilbakevirkende kraft. For den mest utsatte delen av bebyggelsen bør man se nærmere på hvordan risikoen kan reduseres. Det anbefales å gjøre videre vurdering av risikoreduserende tiltak for eksisterende bebyggelse helhetlig etter kost-nytte-prinsippet, hvor kostnaden av tiltaket må vurderes opp mot nytten (i form av risikoreduksjon) det kan gi.

[1] https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Om oppdraget

Oppdragsgiver:	Ullensvang kommune
Utførende foretak:	NGI
Skredfareutredning for:	Område spesifisert i kartutsnitt/vedlegg
Følgende tiltak og sikkerhets-klasse(r) er planlagt på eiendommen/planområdet:	Eksisterende bebyggelse (tiltak i klasse S1 og S2 etter dagens regelverk)
Befaring gjennomført, eventuelt hvorfor ikke:	Ja
Befaring gjennomført av og når:	25.09.2023 av Ulrik Domaas og Heidi Hefre 16.-19.04.2013 av Heidi Hefre og Frode Sandersen 17.-20.09.2012 av Ulrik Domaas og Heidi Hefre 08.06.2012 av Ulrik Domaas 30.05.2012 av Ulrik Domaas

Innhold

1 Innledning 7
1.1 Forbehold 8
2 Områdebeskrivelse 8
3 Metodikk og datagrunnlag 10
3.1 Farevurdering etter TEK17 og inkludering av flogstein 10
3.2 Digitale terrengmodeller (DTM) 11
3.3 Effekt av skog 13
3.4 Klimatologiske data 13
3.5 Tidligere utredninger / kartlegginger i området 16
3.6 Eksisterende sikringstiltak 17
3.7 Historiske skredhendelser 19
3.8 Bruk av modeller 28
3.9 Andre datakilder benyttet i vurderingen 28
4 Skredfareutredning 30
4.1 Steinsprang 30
4.2 Steinskred 39
4.3 Snøskred 42
4.4 Jordskred 44
4.5 Flomskred 46
4.6 Sørpeskred 46
4.7 Hva er den samlede skredfaren? 46
4.8 Sikkerhet for eksisterende bebyggelse 47
4.9 Avvik fra tidligere skredfareutredninger 48
4.10 Stedsspesifikk usikkerhet 49
5 Konklusjon 49
6 Referanser 50
7 Svar til uavhengig kvalitetssikring fra Norconsult 52

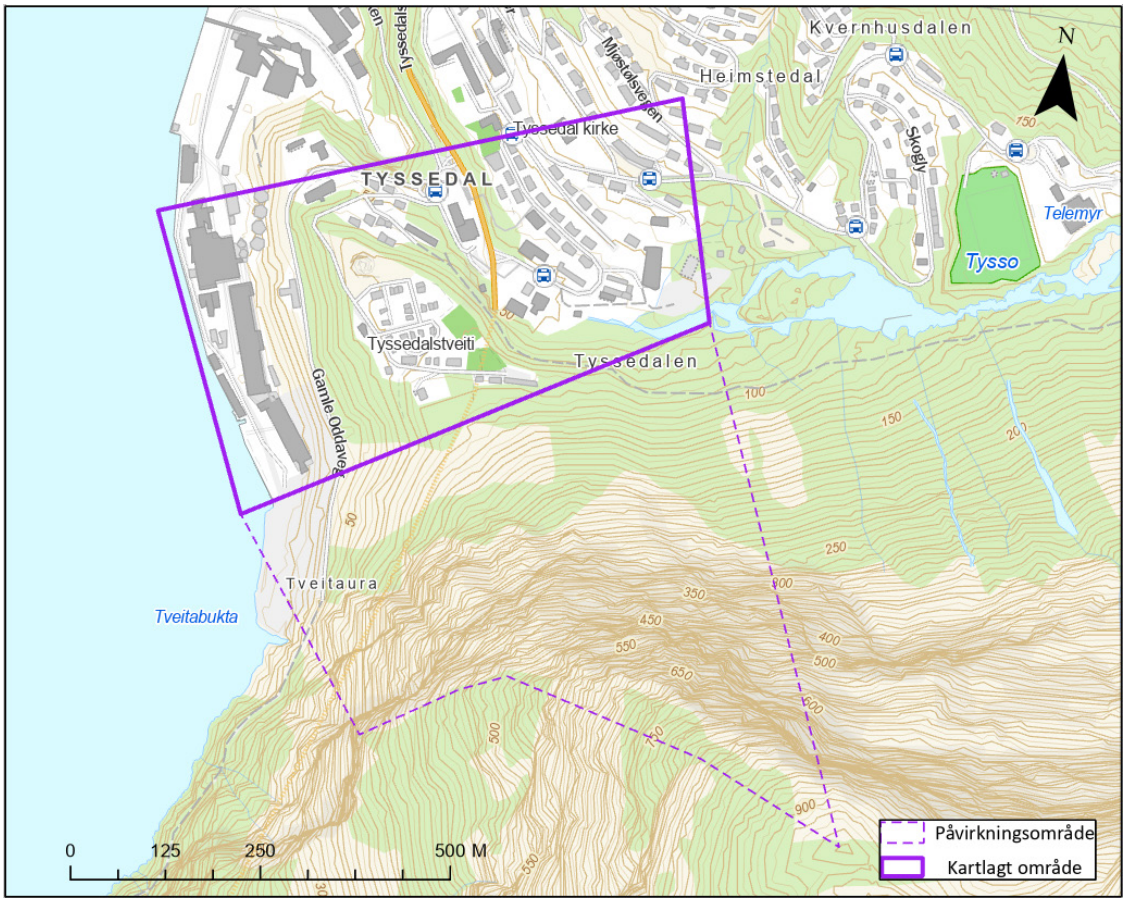
Vedlegg

Vedlegg A Modellbeskrivelser
Vedlegg B Helningskart
Vedlegg C Registreringskart, oversikt og detaljert
Vedlegg D Modellkart snøskred
Vedlegg E Faresoner
Vedlegg F Egenerklæringsskjema

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

NGI har på oppdrag fra Ullensvang kommune vurdert skredfare for området under Tveitanuten i Tyssedal i Ullensvang kommune (Figur 1-1). Vurderingen omfatter en revisjon av faresonene som ble utarbeidet i det samme området av NGI i 2012 ifm. statlig kartlegging av Odda kommune på oppdrag fra NVE (NGI, 2012).



Figur 1-1. Kommunen har bedt NGI revidere faresoner for Tveitahaugen og Kvernhusteigen, mhp. skredfare fra fjellsiden opp mot Tveitanuten sør for kartleggingsområdet.

Bakgrunnen for revisjonen av faresonene er at det har gått flere steinsprang fra Tveitanuten siden 2012 hvor steinsprut/flogstein har vært et gjentagende problem for bebyggelsen og skapt uro for innbyggerne. Flogsteinproblematikk er ikke inkludert i gjeldene faresoner fra 2012, og kommunen ønsket nå en ny gjennomgang og vurdering av problemstillingen, sett i lys av de siste års hendelser og konsekvenser.

Skredtypene snø-, jord-, flom- sørpe-, steinskred og steinsprang er utredet. Tre returperioder for skred er vurdert i dette oppdraget i henhold til sikkerhetskravene i TEK17:

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

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

Som bakgrunn for vurderingene er det gjennomført befaring, simuleringer av steinsprang samt studie av detaljert terrengmodell, nye og historiske flyfoto, tidligere rapporter og historiske hendelser. Befaring av terrenget i og ovenfor kartleggingsområdet (påvirkningsområdet) ble utført av Ulrik Domaas og Heidi Hefre 25.09.2023 sammen med Berit Soldal Skogseth fra Norconsult og Eirik Lia fra Ullensvang kommune.

1.1 Forbehold

Vurderingen er gjort på bakgrunn av dagens terreng- og vegetasjonsforhold. Klimaendringer og menneskelige inngrep kan endre forutsetningene for vurderingene. Dette gjelder særlig i områder brattere enn 30°.

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

2 Områdebeskrivelse

Tveitanuten (ca. 958 moh.) er svært bratt og har en rekke skrentområder i øvre og midtre deler av fjellsiden (Figur 2-1). Det har gått flere steinsprang fra fjellsiden og skredfaren i området har blitt utredet en rekke ganger (se kap. 3.5. og 3.7.). I nedre del av fjellsiden står det fram bergnabber og store svaberg. Inntil svabergene i nedre del av fjellsiden er det urer som når ned til elva Tysso og til Tveitahaugen. Det er noe løvskog i nedre deler av urene. Den nærmeste bebyggelsen ligger på Tveitahaugen og Kvernhusteigen, i overkant av 200 m og rundt 25° fra toppen av ura. Terrenghelning for kartleggings- og påvirkningsområdet er gitt i Vedlegg B. Berggrunnen i hele ytre del av Tyssedal består av granitt (monzogranitt, middelskornet til grovporfyrisk, foliert til gneisaktig) (NGU). Løsmasser er av NGU kartlagt i målestokk 1:250 000. Området består av bart fjell med skredavsetninger (ur) i nedre del av fjellsiden. Tveitahaugen består av glasifluviale masser (breelv avsetning), da dette er en rest av en glasifluvial terrasse avsatt under istiden.



Figur 2-1. Skredfaren fra fjellet Tveitanuten er vurdert og presentert i reviderte farekart for området nedenfor.

3 Metodikk og datagrunnlag

Denne utredningen følger NVEs veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng – Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak (NVE, 2023). Skredtypene snø-, jord-, flom- sørpe-, steinskred og steinsprang er utredet. Utredning av faresoner for kvikkleireskred og fjellskred er ikke en del av denne kartleggingen.

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

- Terreng (helning, eksponering, bakketype og ruhet)
- Grunnforhold
- Vegetasjon (bunndekke, tetthet av skog)
- Nedbør (frekvens, mengde, snø eller regn)
- Vindens innflytelse (drivsnøavlagring, intensitet av pålasting, eller skavloppbygning)
- Snødekkeegenskaper (maritimt - kontinentalt klima)
- Utløpslengde for skred eller steinsprang

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

$$H = \mathrm{P}_R \cdot P_s \tag{1}$$

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

I områder som kan utsettes for flere typer skred er det den samlede nominelle årlige sannsynligheten for skred som skal legges til grunn. Faresoner for den samlede skredfaren fastsettes ut fra skredtype med lengst skredrekkevidde (dimensjonerende skredtype) for henholdsvis 100-, 1000-, og 5000-årsskred, og er utarbeidet i henhold til sikkerhetskravene i TEK17.

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

3.1 Farevurdering etter TEK17 og inkludering av flogstein

Det har vært flere skredhendelser som illustrerer flogsteinproblematikken for bebyggelsen i Tyssedal og som reiser behov for en ny vurdering av hvordan flogstein inkluderes i faresonene. De siste års hendelser viser at problemet ikke tilstrekkelig er

fanget opp i de gjeldene faresonene for området, og vi har derfor gjort en ny gjennomgang og tolkning av byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning.

I TEK17 § 7-3. Sikkerhet mot skred står det at «Kravene i forskriften gjelder også sekundærvirkninger av skred. Skred, for eksempel store fjellskred, kan føre til flodbølger og flom i fjorder og vassdrag, noe som kan få store konsekvenser for mennesker og miljø. Skadelige lufttrykkvirkninger anses som en del av skredet og ikke som en sekundærvirkning.» Sistnevnte henviser til snøsky fra store tørrsnøskred som kan gi skade på bebyggelse. På samme måte som snøsky skal forstås som en del av snøskredet, må flogstein forstås som en del av en steinsprang-hendelse, og faren for flogstein skal følgelig vurderes sammen med faren for steinsprang.

Hovedgrunnen til at flogsteinproblematikken ikke har vært inkludert i tilstrekkelig grad tidligere, er at skaden på bygninger ikke er omfattende. Regelverket sier imidlertid at uteareal til bygningene / på tomten omfattes på samme måte av lovverket. I § 7-3 annet ledd står det: «Byggverk og **tilhørende uteareal** skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot skred, herunder sekundærvirkninger av skred, slik at største nominelle årlige sannsynlighet i tabellen ikke overskrides.»

Nedslagspunkter for flogstein viser at områdene nærmest Tveitanuten er blitt hyppig rammet av flogstein, og utgjør en fare for mennesker som oppholder seg utendørs. Kravet som er gitt i TEK17 «angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, det vil si skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader.» Flogstein kan utgjøre fare for liv og helse for personer som oppholder seg på tilhørende uteareal, og faren for flogstein er derfor inkludert i reviderte skredfarekart for bebyggelsen under Tveitahaugen.

Under veiledningen til annet ledd står det videre: «For bygninger som inngår i sikkerhetsklasse S2 kan kravet til sikkerhet for tilhørende uteareal reduseres til sikkerhetsnivået som er angitt for sikkerhetsklasse S1 (1/100). Dette fordi eksponeringstiden for personer, og dermed faren for liv og helse, normalt vil være vesentlig lavere utenfor bygningene.» og tilsvarende for S3, hvor sikkerheten for uteareal kan reduseres til kravet for S2 (1/1000). Dette betyr at loven åpner for at sikkerheten til uteareal kan settes ned tilsvarende en sikkerhetsklasse.

Byggteknisk forskrift (TEK17) gjelder for ny bebyggelse.

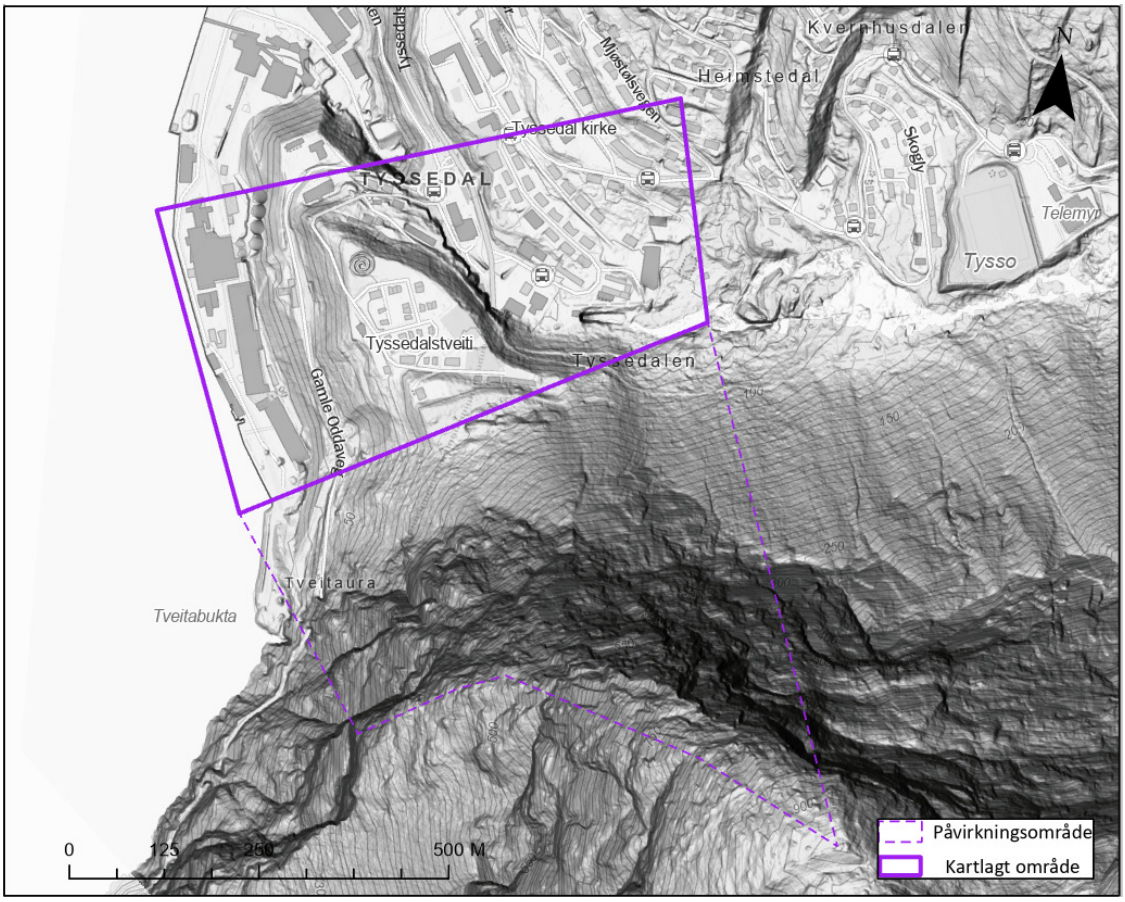
3.2 Digitale terrengmodeller (DTM)

Som grunnlag for terrenganalyser i denne rapporten er det benyttet nasjonal høydemodell 1x1 m oppløsning. Terrengmodellen er laget basert på LiDAR data fra siste oppdatering. Terrengmodellen er også benyttet som grunnlag for kjøring av beregningsmodeller.

Med dagens høyoppløselige LIDAR-data, spiller digitale terrengmodeller og produkter avledet fra dem en økende rolle i terrengvurdering. Disse utfyller feltobservasjoner og

bidrar til å ekstrapolere lokale observasjoner til større områder. Helning og skyggekart er generert på bakgrunn fra terrengmodellen, og benyttet i videre analyser. Skyggekart gir et relieffkart av terrenget som anvendes for geomorfologisk kartlegging, for å identifisere urer, løsmassevifter, andre skredavsetninger, og avgrense skredbaner, løsneområder, osv.

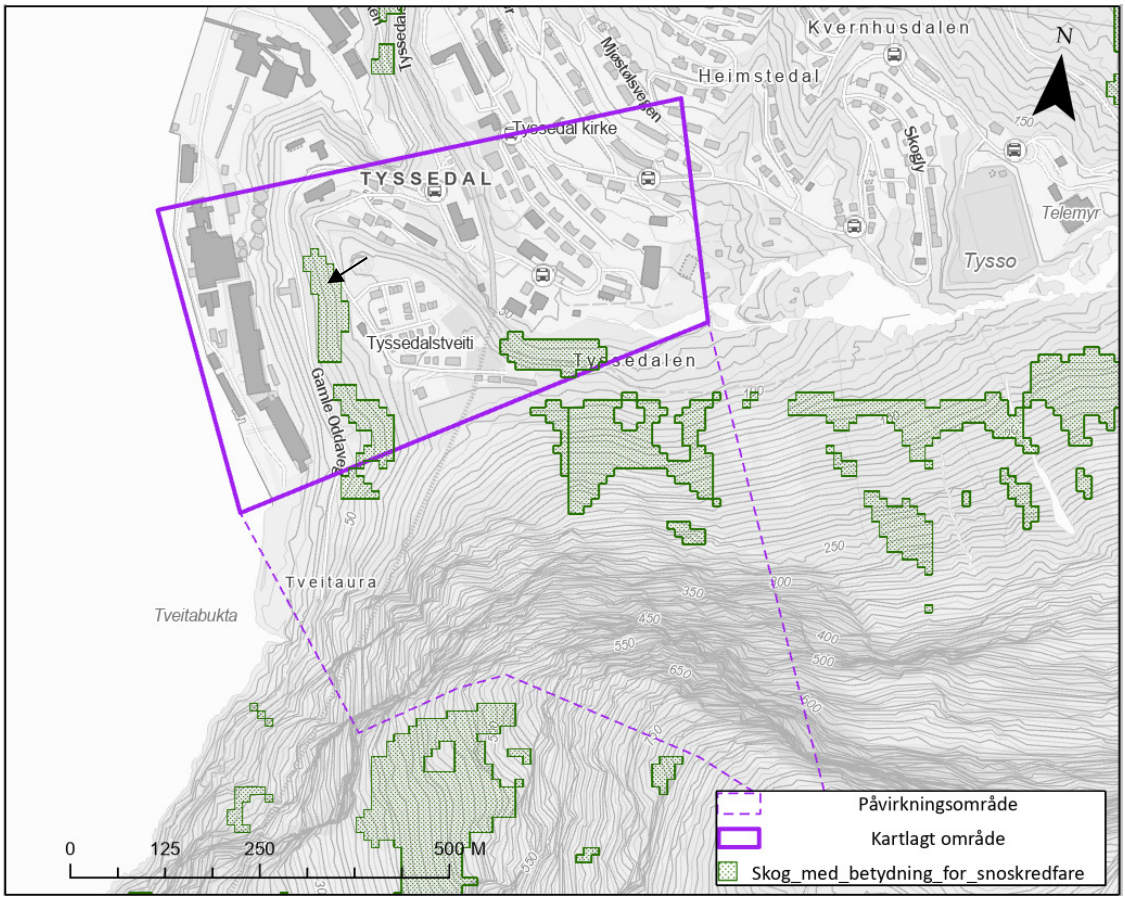
Helningskart benyttes til å identifisere mulige løsneområder for ulike skredtyper. Helningskart for hvert område er gitt i vedlegg B og er delt inn i følgende klasser: i) 20° til 30°, ii) 30° til 37°, iii) 37° til 45°, iv) 45° til 60° og v) over 60°. Inndelingen er gjort for å dekke ulike løsneområder for skred, ettersom snøskred gjerne løsner fra terrenghelninger fra 25 til 55º, steinskred og steinsprang fra helninger > 45º, og jordskred fra terrenghelning mellom 20 og 45º. For sørpeskred vurderes alle skråninger med helning >10° og for flomskred bekkeløp med helning > 15°. Løsneområder er for øvrig ikke kun avhengig av helning, men også generelt av terrengform, ruhet, vegetasjon og kontinuitet.



Figur 3-1. Skyggekart over kartleggings- og påvirkningsområdet fra DTM 1x1 m oppløsning.

3.3 Effekt av skog

For steinsprang kan skog ha bremsende effekt for mindre steinblokker (under 2 m^3), gitt at skogen står tett nok og har kraftig nok diameter (NGI, 2015). Basert på NGIs anbefalinger (2015) anslås en DBH på 12 cm som nedre grense for at skog skal være relevant i en fareutredning for steinsprang. Den tynne og spredte løvskogen i nedre del av ura er verken tett nok eller kraftig nok til å ha tilstrekkelig effekt mot steinsprang (se bilde av skogen i fjellsiden i Figur 2-1). Skog som har tilstrekkelig høy kronedekning, treantall og brysthøydediameter til å redusere sannsynligheten for utløsning av snøskred er vist i Figur 3-2 (NGI, 2023a). Analysen er basert på SR-16 datasettet fra NIBIO. Skogen er lauvdominert, bortsett fra skogspolygonet med pil som er furudominert.



Figur 3-2. Skog med betydning for snøskredfare (fra NVE Temakart).

3.4 Klimatologiske data

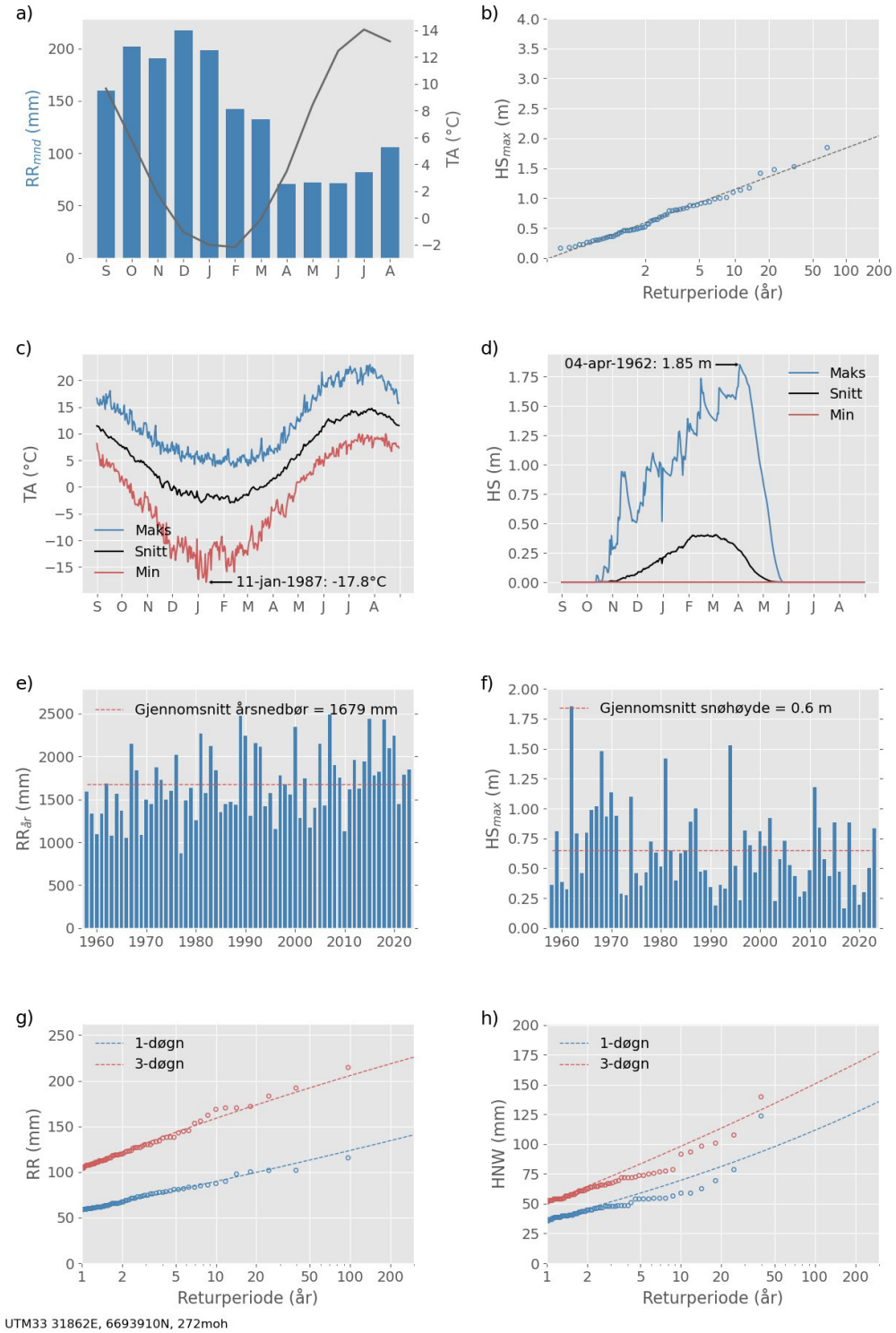
Interpolerte klimadata fra SeNorge-datasettet (Lussana et al., 2016; Saloranta, 2014) for normalperioden 1991 - 2020 viser at normal årsnedbør i det undersøkte området er ca. 1676 mm, hvor ca. 611 mm kommer om vinteren (DJF). Årsmiddeltemperatur i området er 5.7 °C og døgnmiddeltemperaturen varierer normalt fra -10.5 °C til 20.3 °C.

Gjennomsnittlig årsmaksimal snøhøyde er 56 cm og maksimal snøhøyde siste 60 år er 185 cm.

Ved å bruke de maksimale nedbør- og snøhøydeverdiene i de interpolerte dataene kan man estimere forventet 1000-års nedbør og 300-års snøhøyde for området. I dette området er 300-års snøhøyde beregnet å være 2.0 meter, og 1000-års nedbør 135 mm/-døgn (basert på Dyrrdal A.). Dette er estimater basert på korte observasjonsperioder og statistiske usikkerheter.

Klimafremskrivinger (Hanssen-Bauer et al., 2015) for Norges fastland frem mot år 2100 viser at man kan forvente en økning i nedbørmengdene på mellom 9 % (scenario 1, RCP 4.5) og 15 % (scenario 2, RCP 8.5). Økningen om vinteren er henholdsvis 4 % og 15 % for de to scenariene. Temperaturen vil øke med mellom 2.6 °C og 4.3 °C. Dette har også en effekt på snødekket, som er forventet å minke med mellom 64 % og 82 %. Antall dager med snø på bakken er forventet å reduseres med henholdsvis 60 og 75 dager for de to scenariene. Endringene er relativt til referanseperioden 1971-2000. Høyde på valgt gridcelle er 272 moh.

For steinsprangvurdering er ikke klimaanalysen særlig relevant, ettersom korrelasjonen mellom steinsprangaktivitet og observerte værparametere ikke er funnet å være signifikant (Jaedicke et. al, 2008; Palau et.al., 2023). Det går steinsprang og steinskred gjennom hele året uten noen annen påviselig grunn enn de langsomtvirkende drivende prosessene. Man kan ofte se en økt aktivitet under nedbørsperioder, snøsmelting og særlig frys- og tine- perioder (Palau et.al., 2023; Jørstad, 1979). En studie av steinsprang for Oppdølsstanda viser imidlertid at antall hendelser med uspesifisert årsak på sommerstid, som kan skyldes termiske utvidelser i bergmassen, er like frekvent som hendelser ellers på året (Statens vegvesen, 2017). I denne studien er det ikke funnet noe tidspunkt på året som er spesielt skredutsatt.

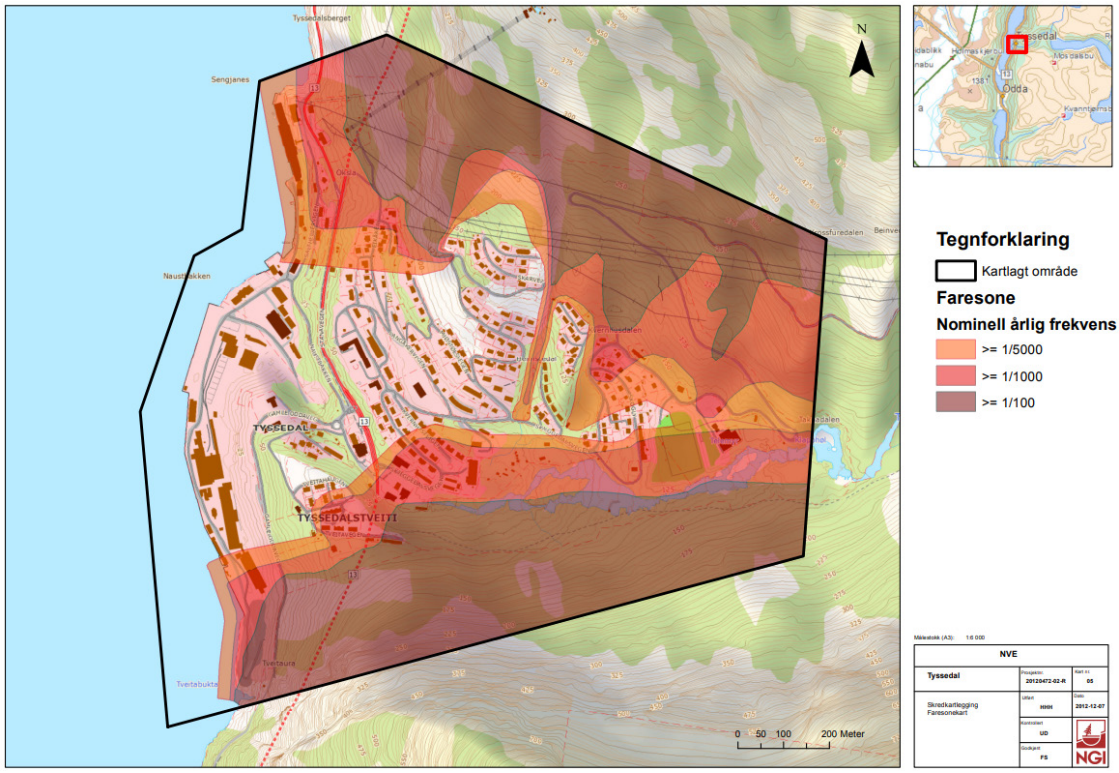


Figur 3-3. Månedsnedbør og –lufttemperatur, b) returverdier (gumbelfordeling) for årlig maks snøhøyde. Daglig minimum, maksimum og gjennomsnittlig lufttemperatur (c) og snøhøyde (d). Tidsserier av årsnedbør (e) og årlig maks snøhøyde (f). Returverdier (peak over threshold) for 1- og 3-døgns nedbør (g)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

3.5 Tidligere utredninger / kartlegginger i området

Vi kjenner til 7 tidligere rapporter som omfatter dette delområdet, alle utarbeidet av NGI:

- NGI, 1970. Dok. nr. 70907-1 (innledende vurdering) og NGI, 1971. Dok. nr. 71604-1 (nærmere vurdering)
  - Faren for fjellskred fra Tveitanuten ned i Sørfjorden med fare for flodbølge. Det ble ikke funnet indikasjoner på at det er fare for at hele partiet skal rase samlet ut. Mindre partier, 10 – 20 000 m^3, må man regne med kan rase ut, uten fare for flodbølge mot Tyssedal.
- NGI, 1975. Dok. nr. 75414-1
  - Vurdering i etterkant av steinsprang 10.05.1975 på 200-300 m^3 som løsnet fra Tveitanuten rundt kote 810. Kartlegging av steinsprangblokkenes rekkevidde under hendelsen i 1975. Rapporten vurderer at det er en rekke partier hvor det kan ventes steinsprang i fremtiden. Sannsynligvis vil steinsprang være av mindre omfang, men muligheten for større utfall kan ikke utelukkes. Full sikring av eksisterende bebyggelse mot flogstein er umulig, men faren bør tas hensyn til ved ny utbygging. Det bør være minst mulig vindusareal mot syd og øst, og med sterkere konstruksjonsdeler i tak og vegger.
- NGI, 1980. Dok. nr. 80415-01
  - I 1980 utførte NGI skredfarevurdering for ny bebyggelse på Tveitahaugen på oppdrag fra D. N. N. Aluminium A/S. Opplysninger er gitt om at garasjene lengst øst har blitt rammet av stein flere ganger. Stein har bl.a. rammet takene og fortsatt ut skråningen mot elva. Garasjene er i betong og skadene har vært beskjedne. Dette viser at steinstørrelsen må ha vært relativt liten. Det konkluderes det med at øvre del av Tveitahaugen ligger utsatt for skred fra Tveitanuten. På bakgrunn av tidligere skredhendelser og generell praktisk erfaring settes grensen for utbredelsen av steinsprang til 23 grader fra topp ur. Foreslåtte nybygg lå innenfor denne grensen og ingen nye boliger ble oppført.
- NGI, 1985. Dok. nr. 85471-1, datert 14. november 1985.
  - Kvernhusteigen industriområde. Vurdering av maksimal rekkevidde for rullende blokker fra Tveitanuten. Grensen går 30 – 50 m forbi elva.
- NGI, 2012. Faresonekartlegging for Tyssedal på oppdrag for NVE. Faresonekart fra 2012 er presentert på kart i
- NGI, 2012 og senere, tilhørende prosjekt 20120559. Vurderinger av fare og råd om sikring for bebyggelsen i Tyssedal.
  - NGI, 2013: Rapport 20120559-01-R utreder mulig sikring for bebyggelsen under Tveitanuten.
  - Teknisk notat 20120559-1, 2, 3 og 4 angår rensk, tiltak, foreløpige lokale faresoner for evakuering, arbeidsprosedyrer for arbeid på Gamle Oddaveg under toppen av Tveitanuten, samt sikring av løse steinblokker under Tyssedalsnuten. Inneholder en grense opptegnet for evakuering av bebyggelse i forkant av rensk hvor faren for flogstein er vurdert.
  - NGI, 2018 og 2019. Revidert søknad for sikring av bebyggelse i Tyssedal, 2018, med revisjon i 2019.



Figur 3-4. Faresonekart utarbeidet for Tyssedal i 2012 inkluderer Tveitahaugen (NGI, 2012).

- Norconsult, 2023
  - Steinsprang fra Tveitanuten (Powerpoint/PDF med bilder samt punktliste med akuttvurderinger etter hendelsen 20.04.2023)
  - Befaringsobservasjoner Tveitahaugen 04.05.2023 (Powerpoint/PDF med bilder og observasjoner fra befaring)

3.6 Eksisterende sikringstiltak

Sikringstiltak for bebyggelsen under Tveitahaugen er utredet som et mulighetsstudie i NGI (2013). Rapporten undersøker ulike tiltak, både mot rullende blokker og flogstein, samt sikring av partier direkte i fjellsiden. Her ble det skissert å etablere en 8 m høy fangvoll med fanggjerde ovenfor Tveitahaugen, med en presisering av at kun en liten andel av flogstein vil kunne stoppes med et slikt tiltak. Det er også skissert tiltak for Skjeggedalsveien 2 og for industriområde nede ved gamle Oddaveg. Flogstein-problematikken er diskutert, hvor de mest aktuelle sikringstiltakene er beskrevet å være forsterkning av bygg og/eller sikring i fjellsiden for å hindre steinsprang fra å løsne.

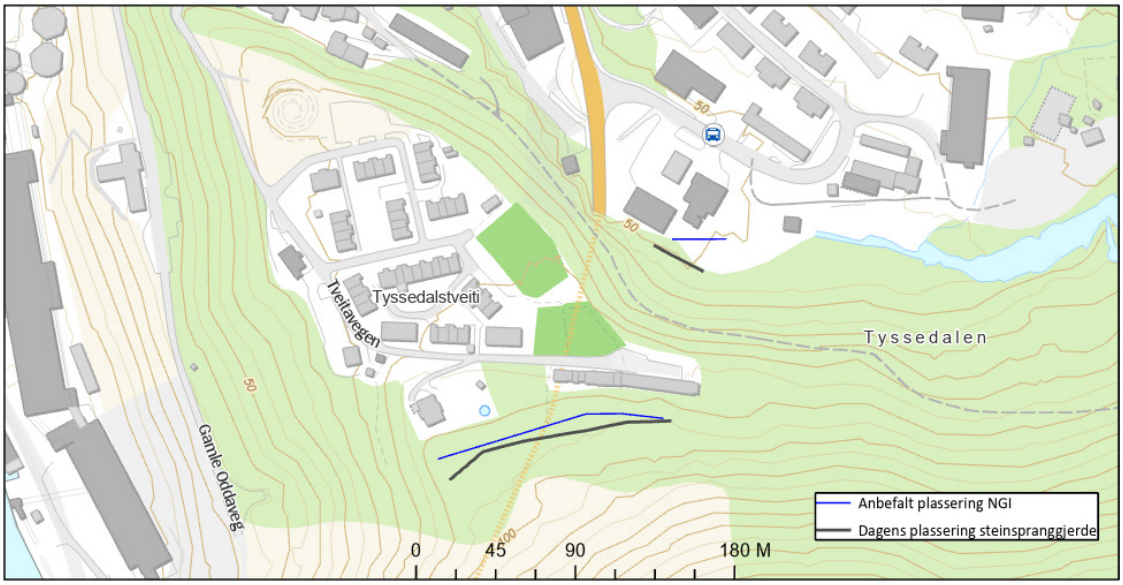
På bakgrunn av at kommunen fikk avslag fra NVE om støtte til bygging av tiltaket foreslått i NGI (2013) ble NGI bedt om å bistå med faglige innspill ifm. revidert søknad om støtte til sikring av bebyggelsen. Den reviderte søknaden skulle prioritere de mest nødvendige tiltakene i en nytte-kost-evaluering. NGI (2019) gir råd om hvilke sikrings-

tiltak som bør prioriteres. Det anbefales å sikre de mest utsatte byggene mot flogstein, hvor sannsynligheten for flogstein er anslagsvis større enn 1/100 per år. Det bør prioriteres å sikre tak, og takene som har størst areal og er mest utsatt bør i første rekke forsterkes til å tåle minimum 100 kJ. Det er videre anbefalt å sikre utearealer som leke-plassen på Tveitahaugen med wirenett, eventuelt flytte lekeplassen og andre utendørs samlingssteder utenfor sonen med høyest sannsynlighet for flogstein. Fanggjerde er foreslått for å sikre boligområde på Tveitahaugen samt Skjeggedalsvegen 2 mot rullende blokker, og anbefalte dimensjonerende verdier er gitt. Det presiseres at restrisiko mot flogstein gjenstår ved oppføring av fanggjerder.

Da kommunen fikk støtte til sikring med fanggjerder har Norconsult utarbeidet konkurransegrunnlag for tiltakene og beholdt vurdert høyde og kapasitet fra NGI (2019). Opprinnelig anbefaling fra NGI var et gjerde nedenfor garasjene, men østlig del av øvre gjerde ble flyttet opp etter ønske fra kommunen og vurdert i en revisjon av rapporten NGI (2019). Endelig plassering av gjerdene er vist på kart i Figur 3-5, og har noe avvik fra skissert plassering i NGI (2019). Gjerdet ved Skjeggedalsveien 2 er vurdert på nytt av Norconsult (2023) og anbefalt utbedret.

Følgende tiltak er oppført ifølge Norconsult:

- Tveitahaugen:
  Nettype: Maccaferri av type RB2000 med høyde på 5 meter og energikapasitet på 2000 kJ (kategori 5 og A i henhold til ETAG 027). Avbildet i Figur 3-6.
- Skjeggedalsvegen 2:
  Nettype: Maccaferri av type RB1500 med høyde på 4 meter og energikapasitet på 1500 kJ (kategori 4 og A i henhold til ETAG 027).



Figur 3-5. Dagens plassering av fanggjerder samt anbefalt plassering ifm. søknad.



Figur 3-6. Steinspranggjerde ovenfor Tveitahaugen har høyde 5 m og kapasitet 2000 kJ.

3.7 Historiske skredhendelser

En viktig basis for faresonekartlegging er å skaffe seg oversikt over tidligere skredhendelser. Dette er nyttig informasjon for å forstå skredproblematikk for området, bestemme frekvens og hvor lang rekkevidde skred kan oppnå.
Følgende kilder er benyttet ved kartlegging av tidligere skredhendelser:

- NVEs nasjonale skreddatabase (NSDB)
- Tidligere skredrapporter fra området som NGI har fått tilgang til
- Bygdebøker og lokalaviser
- Observasjoner fra befaring og flybildestudier
- Samtaler med lokalbefolkning

Tabell 3-1 viser en oversikt over kjente skredhendelser fra Tveitanuten med informasjon om utløp. Hendelsene i Nasjonal skreddatabase (NSDB) har upresis plassering, og er ofte bare plassert høyt oppe i fjellsiden. Plasseringen er derfor ikke gjengitt på kart i denne rapporten, men er tilgjengelig i kartportal NVE Skredhendelser. Hendelser omtalt ved elva Tysso ligger i hovedsak østenfor kartleggingsområdet.

Tabell 3-1 Tabell med skredhendelser fra Tveitanuten, sortert fra nyest til eldst.

Dato	Skredtype	Stedsnavn	Kilde	Beskrivelse
20.04.2023	Steinsprang	Tveitanuten	Norconsult og NSDB	Naturlig steinsprang, anslått til 20-50 m^3 med løsneområdet ca. 550 moh (Figur 3-7). «Vest politidistrikt fekk kl. 7.06 melding om eit steinskred frå Tveitanuten som har treft to garasjar på Tveitahaugen. 4 bustadhus vart evakuert av politiet. Deler av område til ETI (Tizir) var òg påvirka av raset. Evakueringa vart etterkvart utvida til å gjelde 5 bustadhus og restriksjoner på uteområde på Tveitahuagen, bygg og uteområde i Skjeggedalsvegen og deler av kaiområde ved ETI. Den 16. mai vart evakueringa midlertidig oppheva for dei bustadene utanom eit bustadhus.»
15.10.2021	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	«Litt over kl. 12, losna eit skred ved Tveitanuten opp om Gamle Oddaveg og Tizir. Kommune-geologen og Ullensvang kommune var på helikoptersynfaring for å finne skredområde og om det var restfare ned mot Tizir. Losneområdet vart observert utanfor område kor det gjekk eit stort skred i 2012. Ein steinblokk har losna i fjellsida og det kan sjå ut som om steinskredet har tatt med seg jordmassar i tillegg nedover lia, vekk frå Tizir og ned mot Gamle Oddaveg og skedmassar frå eit skred den 26.1.2017.»
13.10.2020	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	«Det har losna eit steinsprang frå Tveitanuten nær Tyssohallen. Ut frå video ser det ut til at skredet har stoppa i ura eit godt stykke frå bebyggelse. Det er ikkje kjent at det skal ha kome flogstein frå skredhendinga nær bebyggelse.»
26.04.2020	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	«Tursti truffet av flere sprettende steinblokker (ca. 1-1,5m^3).»
06.11.2017	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	«Steinskred fra nordsiden av Tveitanuten i retning Tveitahaugen. Området har til dels hyppige hendelser av mindre rastilløp gjennom året, men denne hendelsen er større enn hva befolkningen er vant til (mest sannsynlig >100 m^3). Løsneområdet er lokalisert ca. 650 - 750 m.o.h. Utbredelsen av skredet går ned til Tysso, og har en maksimal bredde på ca. 300 m. Ingen skader på bebyggelse er rapportert.»

Dato	Skredtype	Stedsnavn	Kilde	Beskrivelse
19.01.2017	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	«Stort steinskred fra Tveitanuten. steinar nådde elven.»
22.12.2014	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	«Steinsprang i bergsiden under Tveitanuten, mot bebyggelsen øverst i Tveitavegen. Norconsult 2015.»
07.06.2012	Steinsprang	Tveitanuten	NGI og NSDB	Kunstig utløst. Løsneområde ca. 700 moh. Etter skredet 29. mai 2012 ble løsne-området befart av NGI. Det ble vurdert at en blokk på ca. 30 m^3 inntil rassåret var ustabil og burde fjernes ved kontrollert sprengning. Etter evakuering av deler av bebyggelsen i Tyssedal ble den ustabile blokken sprengt ut, med det resultat at et større bergparti enn forventet løsnet i fjellsiden. Til sammen kom ca. 350 m3 samlet ned og spredte seg lenger nordøst enn forventet. Hoveddelen av skredet gikk ned mot industriområdet og forårsaket skade på kabler, veibane og bygninger. En liten del gikk i retning mot Tveitahaugen og ga steinsprut/flogstein mot boligfeltet og på bilverkstedet nedenfor Tveitahaugen.
29.05.2012	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	«Raset kom fra nær toppen av Tveitanuten og nært bustadområdet Tveitahaugen. To skoleklasser var på tur her, og måtte løpe unna raset. Steinane slo ned på nært hald, og ein av elevane vart skadd. Ingen hus kom til skade, men ein parkert bil vart råka av steinane. Nær Tveitavegen nr. 14 kom steinmassar inn i hagen. I alt elleve hus i Tveitahaugen vart evakuerte etterpå. Det gjekk nye, mindre steinsprang også i dagane etterpå»
12.08.1980	Steinsprang	Tveitanuten	NSDB	Kraftig steinras fra den 900 m høge toppen av Tveitanuten. Raset la seg i elvedjupet under, men den veldige kraften av stein-massene gjorde at blokker på flere kilo fløy mange hundre meter gjennom lufta. Steiner traff nesten to småjenter som lekte i hagen, en stein slo hull i en grunn-mur, telefonledning ble kuttet og et tak ble ødelagt.
10.05.1975	Steinsprang	Tveitanuten	NGI	Naturlig utløst, anslått til 200-300 m^3. Løsneområde ca. 800 moh.
09.06.1954	Steinsprang	Tveitanuten	Hardanger Folkeblad	Stort ras fra Tveitanuten med mange kubikkmeter stein traff badedammen som

Dato	Skredtype	Stedsnavn	Kilde	Beskrivelse
			(Dolvik, 2024)	barna bruker. Ingen skadet. Antagelig i elva Tysso ovenfor kartleggingsområdet.
27.11.1958	Steinskred og flodbølge	Tyssedal	NSDB	Steinskred i Sørfjorden fra 7-800 moh ved Tyssedal ga en flodbølge i Sørfjorden som merkes 1 km unna.
08.08.1933	Steinsprang	Tveitanuten, Tveitaura	NSDB	Ved den nordlige tunnelåpninga av Tyssedalstunnelen gikk et steinsprang som tok livet av to jenter. Jentene var ute og spaserte på vegen da en stor stein løsna høgt oppe og laga et steinskred som gikk over vegen og helt til fjorden. Ved fjorden ble fem båter knuste.

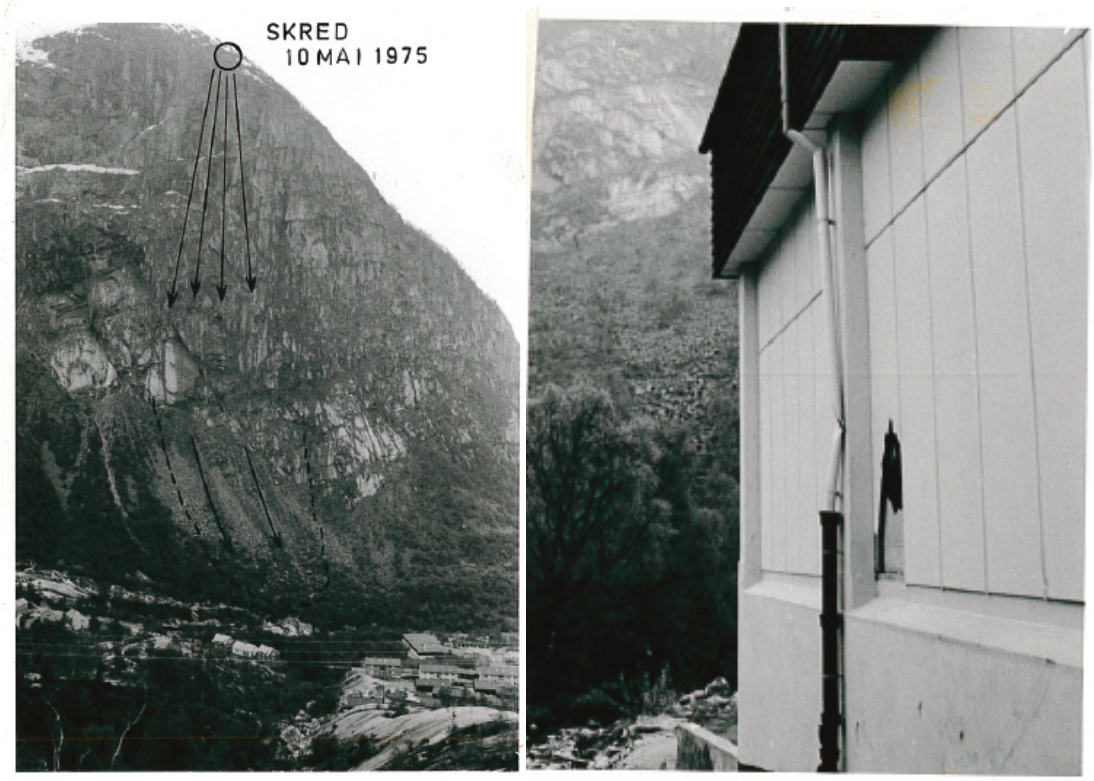


Figur 3-7. Steinsprang anslått til 20-50 m^3 løsnet fra Tveitanuten ca. 550 moh. den 20.04.2023. Rød pil indikerer løsneområdet. (Foto: Norconsult).

Hendelsene i Tabell 3-1 er større hendelser som har berørt bebyggelsen eller har kjent utløp, mens det er hyppigere årlig aktivitet i fjellsiden med mindre steinsprang som har stoppet i ura. Det er registrert mange mindre steinsprang i NSDB fra fjellsiden under Tveitanuten, i en strekning på ca. 1400 m fra øst til vest, fra ca. 2015 og til 2023. Før dette var skredregistrering mindre utbredt, slik at hendelser som ikke har ført til skade ikke er registrert.

Under hendelsen 10. mai 1975 ble bakeriet på andre siden av elva truffet av 6 flogstein-blokker på mellom 1 og 10 kg (Figur 3-8). For øvrig ble stein og blokk funnet flere steder i bebyggelsen, og en 80-100 kg blokk ble kastet helt opp til en garasjeplass ovenfor bakeriet (NGI, 1975). Beboere forteller at det også gikk flogstein til Skjeggedalsvegen 56 og fotballbanen, men dette kan også være en sammenblanding med

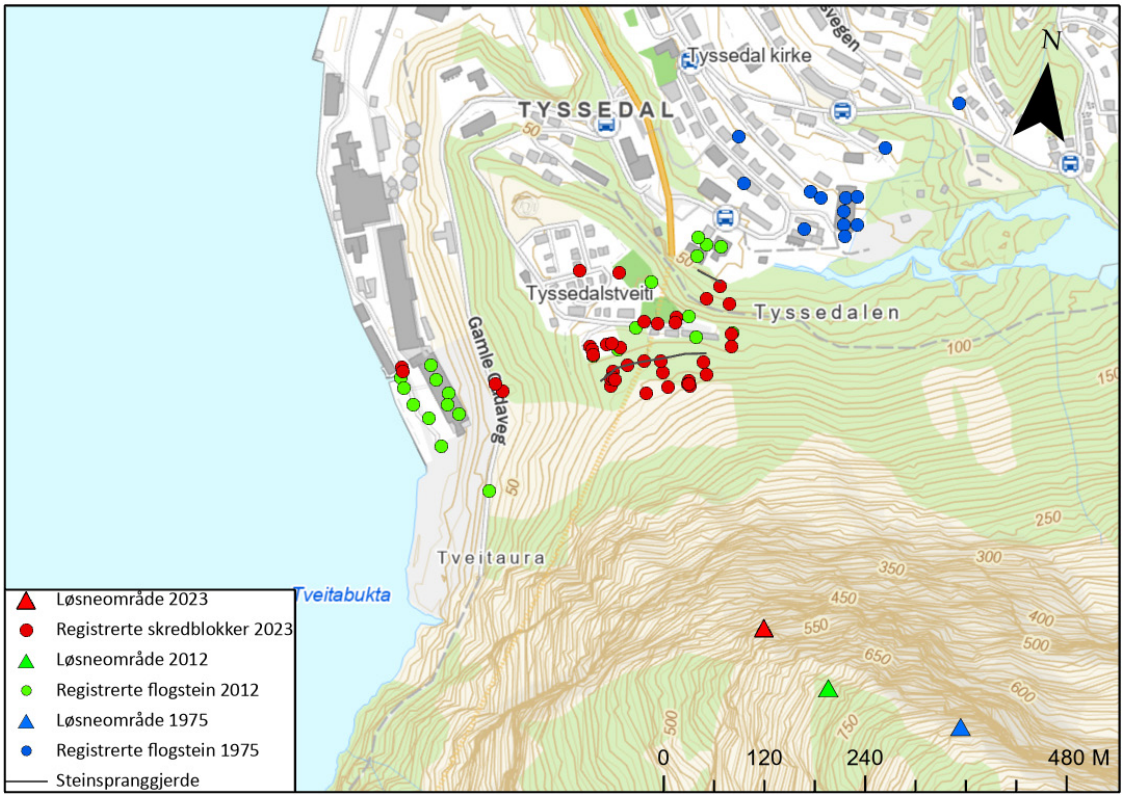
skredhendelsen fra Tyssedalsnuten 16.10.1973 (i motsatt dalside) som vi vet hadde utløp mot dette området og traff bolighus i Kvernhusdalen (Skjeggedalsvegen 53) (Dolvik, 2024). På grunn av denne usikkerheten, samt at dette virker noe mer sannsynlig pga. beliggenhet og avstand, har vi ikke inkludert disse mulige treffpunktene i det videre grunnlaget. Bebyggelsen ble også truffet av flogstein i 1980, men her har vi ikke detaljert informasjon om området som ble truffet. Beskrivelsen om at skredet gikk i elva med flogstein inn i hage, plasserer skredet øst for Tveitahaugen, muligens i samme område som 1975-hendelsen. Det kan også ha skjedd noe lenger øst.



Figur 3-8. Skredet i 1975 løsnet høyt og 800 moh. og ga flogstein mot bebyggelsen. En av skadene på bakeriets østvegg t.h.

Hendelsene hvor vi har detaljert kunnskap om utløp og treffpunkter for flogstein er 1975, 2012 og 2023. Denne informasjonen er sammenfattet i Figur 3-9 som viser treffpunkter fra flogstein i 1975 og 2012, samt registrerte skredblokker og flogstein fra steinspranget i 2023. Det var to steinsprang i 2012, hvorav det første var naturlig utløst 29. mai og ga flogstein mot øvre del av Tveitahaugen (deriblant nr. 14). Det neste var kunstig utløst for å sprenge ned et løst parti som var gjenværende i samme løsneområde. Partiet som løsnet ble større enn antatt og fikk en større utbredelse enn det første skredet, hvor også Skjeggedalsvegen 2 ble rammet av flere flogstein. Selv om denne hendelsen ikke kan brukes i vurderingen av løsnesannsynlighet, ettersom det var kunstig utløst, viser den realistisk utbredelse og utløp av flogstein når et større parti løsner i denne delen av fjellsiden. Hendelsen er derfor brukt i vurderingen av utbredelse av flogstein.

En detaljert oversikt over estimert volum av blokkene som er registrert i etterkant av 2023-hendelsen er vist i Tabell 3-2. Nr 1-24 er registrert av Norconsult i mai 2023. På dette tidspunktet var det ferdselsforbud på oppsiden av steinspranggjerdet, slik at nr. 25-38 er suppleringer fra NGIs befaring i september 2023. Volumestimatene viser omfattende oppknusing av blokkene som har falt ut fra ca. 550 moh. slik at de største blokkene er estimert til ca. 0,2 m^3, mens flertallet er betydelig mindre.



Figur 3-9. Registrerte steinsprang/flogstein fra tre steinsprang fra Tveitanuten siste 50 år. Figuren viser også steinspranggjerder som er oppført for Tveitahaugen og Skjeggedalsveien 2.

Tabell 3-2. Estimert volum av registrerte skredblokker og flogstein fra steinspranget i 2023. Kilde: Nr. 1-24 er fra Norconsult og nr. 25-38 er fra NGI (se kartvedlegg C2 for plassering).

Nr.	Volum (m3)	Kommentar
1	0,00035	Flogstein
2	0,00035	Flogstein
3	0,03	
4	0,000105	Flogstein som traff lyktestolpe
5	0,014	Flogstein
6	Uvisst	Gjengitt observasjon. Flogstein traff tak. Gikk ikke gjennom tak.
7	Uvisst	Gjengitt observasjon. Flogstein traff tak. Gikk ikke gjennom tak
8	0,003	Flogstein
9	0,00105	3. stk flogstein
10	0,00053	Flogstein
11	0,00053	Flogstein
12	0,06	Nedslagspunkt i skråningen ovenfor (kom i høye sprang)
13	0,175	Gikk sannsynligvis under steinspranggjerde, gjennom garasje og stoppet i bil
14	0,00315	Flogstein, traff husvegg på husnr.14
15	0,0000375	Flogstein
16	0,015625	Flogstein
17	0,175	Trolig en tilsvarende blokk ca. 10 m mot vest-nordvest
18	0,14	Stoppet i tre
19	0,003	Flogstein
20	0,09	Stoppet i tre
21	0,0045	Flogstein. henger i steinspranggjerdet
22	0,01	Ligger i bunn av steinspranggjerdet
23	0,0045	Flogstein. henger i steinspranggjerdet
24	0,012	
25	0,01	NGI, Sep23, IMG_3169
26	0,005	NGI, Sep23, IMG_3172
27	0,003	NGI, Sep23, IMG_3173
28	0,03	NGI, Sep23, IMG_3176
29	0,025	NGI, Sep23, IMG_3178
30	0,008	NGI, Sep23, IMG_3187
31	0,000002	NGI, Sep23, IMG_3188
32	0,02	NGI, Sep23, IMG_3189
33	0,000002	NGI, Sep23, IMG_3190
34	0,01	NGI, Sep23, IMG_3191
35	0,2	NGI, Sep23, IMG_3196
36	0,008	NGI, Sep23, IMG_3197
37	0,00001	NGI, Sep23, IMG_3207
38	0,05	NGI, Sep23, IMG_3210



Figur 3-10. T.v.: Nedslag fra blokk nr. 20 ca. 0,1 m^3. T.h.: Blokk nr. 12 ca. 0,06 m^3.



Figur 3-11. Den største blokka som passerte gjerdet var 0,175 m^3, gikk gjennom gjerdet og traff en bil som stod parkert her (bilder fra NRK, 2023).

Blokk nr. 13 i Tabell 3-2 på 0,175 m^3 gikk gjennom steinspranggjerdet, videre gjennom en garasje og stoppet i en bil som stod parkert (Figur 3-11). Ut fra samtaler med Sondre Guldhaug, anleggsleder hos Nordisk fjellsikring som har satt opp sikringsgjerdet ovenfor Tveitahaugen samt utbedret dette etter hendelsen, skyldes dette et uheldig treff av steinblokken mot bergoveflaten i underkant av gjerdet, som har kappet av bunnwiren og således gått gjennom gjerdet. Bremseelementene i gjerdet er ikke aktivert under hendelsen, hvilket tyder på at kapasiteten i gjerdet ikke er tatt ut.

Det er dokumentert at to blokker har fulgt bakken i høye sprang og passert over sikrings-gjerdet (se markerte nedslagspunkt og blokker markert i kartvedlegg C2). Dette er tydelig ut fra nedslagspunkter som viser at blokkene har kommet i sprang, og ikke som flogstein. Figur 3-12 viser nedslagspunkt i skråningen 25 m nedenfor steinspranggjerdet, samt blokken på 0,06 m^3 som landet 21 m lenger ned. Videre er det blokk nr. 18 som har nedslagspunkter nedenfor garasjene som viser at blokken har fulgt bakken i sprang.



Figur 3-12. Foto av nedslag (i front), samt blokken (nr. 12) innringet i rødt. Kilde Norconsult, 2023.

3.8 Bruk av modeller

Beregningsmodeller er et viktig supplement når endelig utstrekning av faregrensene skal bestemmes. Viktigste kilde til fastsettelse av faregrenser er faglig skjønn basert på erfaring og observasjoner gjort under befaringen og opplysninger om tidligere skredhendelser. Modellkjøringer er et hjelpemiddel for å se på utløpslengder og terrengeffekter, og vurdere om det er behov for justering av grensene på bakgrunn av dette. Alle numeriske modeller gir en indikasjon av rekkevidde som må evalueres skjønnsmessig. Informasjon om skredhendelser, sikringstiltak, bygningsstrukturer, terrengforholdene og underlagets betydning vurderes og tillegges vekt.

Benyttede modeller i dette prosjektet er angitt i Tabell 3-3. Modellene er kjørt uten effekt av skog og sikringstiltak for steinsprang. Linjer er lagt inn i steinsprangmodellene der hvor fanggjerder er etablert for å samle inn data fra modellene om steinsprang som passerer linjen. Nærmere beskrivelse av modellene finnes i Vedlegg A.

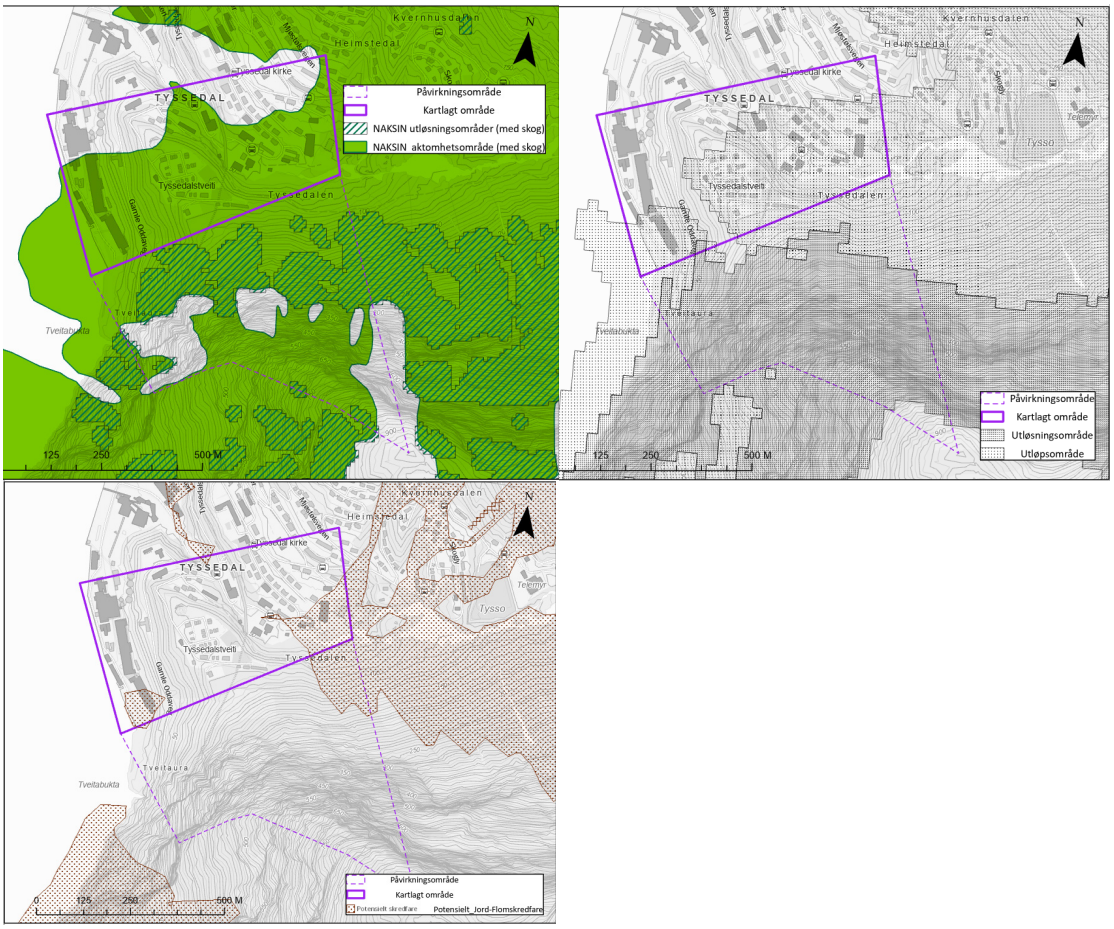
Tabell 3-3 Oversikt over modellverktøy anvendt for skredsimuleringer i denne rapporten

Skredtype	Dynamiske modeller	Topografiske/statistiske modeller
Steinsprang	RAMMS Rockfall	Forhold mellom maks. utløp og løsnepunkt, topp ur og høyde av fjellside
	Rockyfor3D	
Snøskred	SAMOS	Alfa/beta modellen

3.9 Andre datakilder benyttet i vurderingen

I tillegg er følgende andre datakilder benyttet og gjennomgått for samtlige områder i skredfarevurderingen:

- Serier av historiske flyfoto
- Løsmassekart og berggrunnskart fra NGU
- InSAR Norge fra NGU; oversikt over langsomme bevegelser i fjellsider
- NVEs database for potensielt ustabile fjellparti og fjellskredovervåkning
- Skogsdata fra NIBIO: SR16 og SAT-SKOG og produktiv skog fra AR5
- Aktsomhetskart tilgjengelig fra NVEs temakart
    - Kartleggingsområdet ligger innenfor aktsomhetsområdet for snøskred, steinsprang og delvis jord- og flomskred (Figur 3-13)



Figur 3-13. Aktsomhetsområder for snøskred (oppe t.v.), steinsprang (oppe t.h.) og jord- og flomskred (nede t.v.) fra NVE.

4 Skredfareutredning

4.1 Steinsprang

4.1.1 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Den sørlige fjellsiden over Tyssedal, Tveitanuten, er høy, steil og oppsprukket. Det er flere kjente steinspranghendelser fra denne fjellsiden og det har vært gjort flere skredfarevurderinger for dette området tidligere (se kap.3.6). Fjellsiden har blitt undersøkt i flere omganger av NGI, med bruk av helikopter, gigapan og kikkert for å identifisere løse bergpartier.

Geologien i området preges av harde grunnfjellsbergarter bestående av lys granitt. Granitten er noe omdannet og gneisaktig, stedvis med preg av øyegneis, hvor store lyse feltspatkrystaller ligger i en båndet eller stripet mørk grunnmasse (Figur 4-1).

Bergarten har tre hovedsprekkesett; ett nær horisontalt som kan utgjøre øvre avgrensning for blokkutfall og gi partier som mangler understøtte, og to bratte sprekkeplan med fall mot hhv. nord og vest, som utgjør glideplan for steinsprang fra hhv. nordvendt og vestvendt del av Tyssenuten. I tillegg finnes det stedvis eksfoliasjonsplan som gir overflateparallell avskalling. Oppsprekkingen av fjellsiden gir opphav til mange små og noen større enkeltblokker samt blokkpartier som er delvis avløst og kan komme ned som steinsprang etter hvert som forvitringsprosesser i berget skrider fram (Figur 4-2, full oppløsning av Gigapan-foto er tilgjengelig på gigapan.com/gigapans/128414).



Figur 4-1. Fersk blokk som viser bergarten i området, som er granitt, stedvis med store feltspatkrystaller i en mørk grunnmasse.



Figur 4-2. Gigapan-foto av Tveitanuten. Sva-partier i nedre fjellside og oppsprukket berg i øvre fjellside. Øvre del av Tveitahaugen skimtes nede t.h.

Bebyggelsen innenfor kartleggingsområdet nærmest fjellsiden Tveitanuten er, ut fra dokumenterte kilder, truffet av flogstein minst tre ganger siste 50 år; i 1975, 2012 og 2023. I tillegg kommer flogstein som rammet bebyggelsen i 1980, men dette kan også ha skjedd noe øst for kartleggingsområdet. Bebyggelsen i området er fra ca. 1906, dvs. 118 år gammel. Ut fra en ren frekvensbasert tilnærming for hele observasjonsperioden er bebyggelsen rammet av flogstein i gjennomsnitt hvert 40. år, eller hvert 30. år dersom vi inkluderer 1980-hendelsen. Imidlertid har nå to steinsprang rammet samme del av bebyggelsen siste 11 år. Vi kjenner ikke til at steinsprang har rammet Tveitahaugen første ca. 70 år (1906-1975). At flogstein kan ha kommet mot bebyggelsen uten å gjøre større skade kan heller ikke utelukkes, da dokumentasjon av hendelser uten skade den gang ikke var like god som i dag.

Det kan spekuleres i om en økt aktivitet i fjellsiden siste år kan ha sammenheng med klimaendringer. Selv om flere studier har tatt for seg dette tema har forskningen så langt ikke påvist en signifikant økning i steinsprangaktivitet i Norge som følge av klima-endringer, annet enn i områder med permafrost (Jaedicke, 2008; Fisher, et. al. 2012). Likevel er det flere studier som indikerer en sammenheng mellom nedbør og temperatur-skifter rundt 0°C og steinsprangaktivitet, og peker på at forventede klimaendringer med økt nedbør og temperatur kan gi en økt skredfrekvens i et langsiktig perspektiv (Statens vegvesen, 2017; Palau et.al., 2023; Jørstad, 1979).

Steinspranghendelsene som er omtalt er de som har nådd bebyggelsen, men det går langt flere steinsprang i fjellsiden som stopper i ura ovenfor bebyggelsen. Innbyggerne i

området forteller om høy aktivitet i fjellsiden. I uken før og etter hendelsen i april 2023 ble det fortalt om flere mindre steinsprang fra Tveitanuten (Norconsult, 2023).

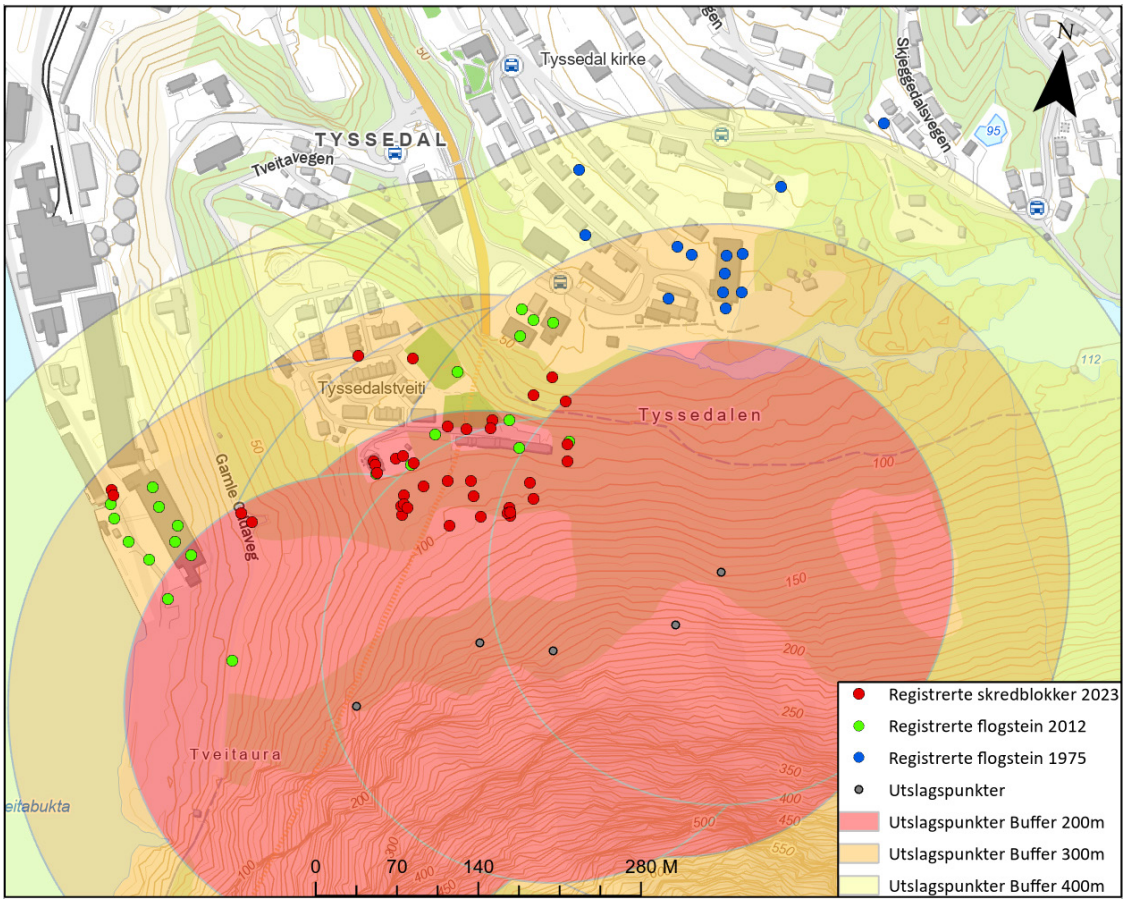
4.1.2 Utredning av utløp

4.1.2.1 Flogstein

De kjente hendelsene har vist at flogstein er et av hovedproblemene for bebyggelsen knyttet til steinsprang fra Tveitanuten. Hendelsene viser også at hvert enkelt steinsprang som løsner i den høye fjellsiden slynges utover et stort område nedenfor (Figur 3-9). Det er derfor et forholdsvis stort areal som er utsatt for hvert større steinsprang, særlig for steinsprang som løsner høyt i fjellsiden.

Flogstein-problematikken kommer av at fjellsiden er så høy og steil, slik at blokkene som løsner oppnår betydelig fart og energi fra å være i fritt fall, før de knuses mot berget i nedre del av fjellsiden. De små blokkstørrelsene som er observert i utløpsområdet etter hendelser tyder på omfattende oppknusing (Tabell 3-2). Når blokkene knuses mot berget i nedre del, slynges de ut som flogstein og kan oppnå høye kastebaner og lange utløp. Dette er nærmere utredet i NGI (2013), og tilbakeregning av tidligere hendelser viser en maksimal oppnådd horisontal rekkevidde av flogstein på ca. 400 m fra antatt utslags-punkt.

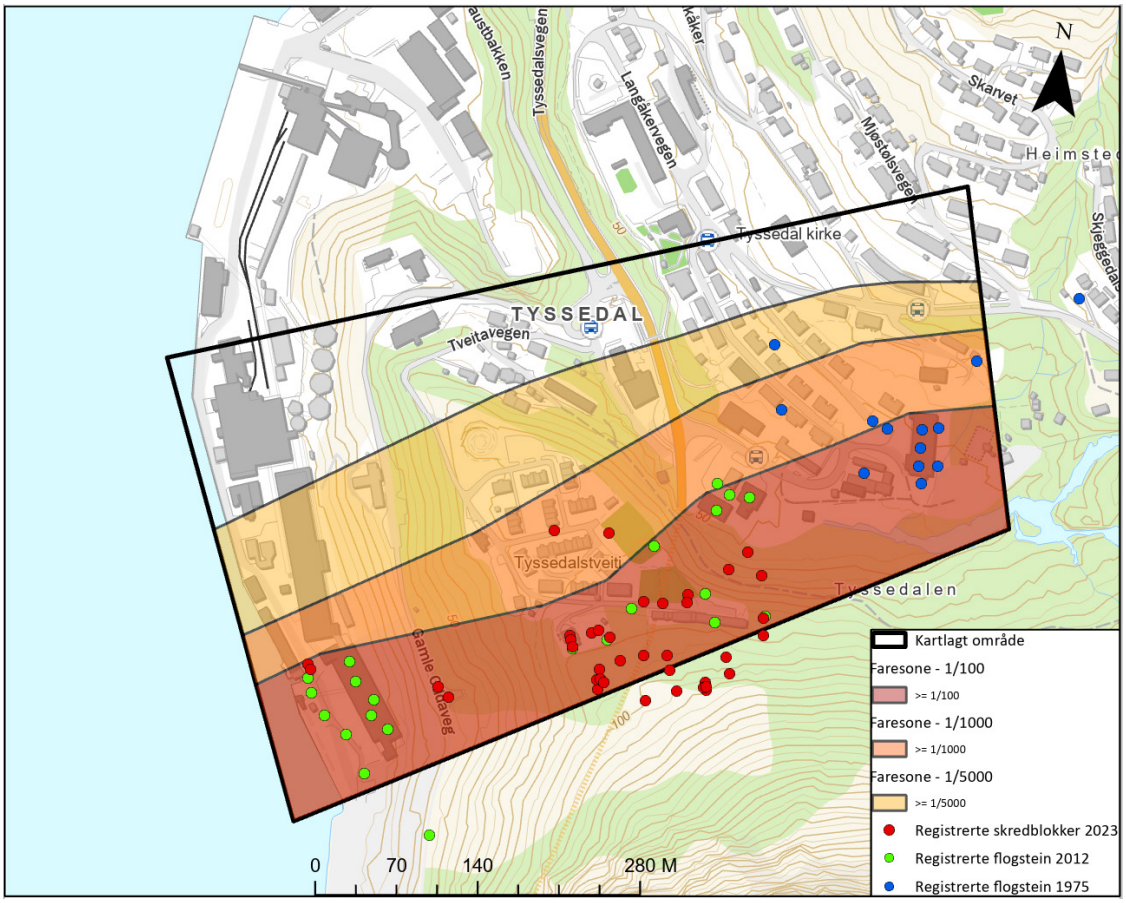
De mest relevante utslagspunkter for flogstein vurderes å være i nedre del av fjellsiden hvor blokker slår ned i berg med slakere helning etter fritt fall. På utslagspunktene kan flogstein slynges ut i flere retninger. Noen representative utslagspunkter i nedre del av fjellsiden er valgt, og horisontal avstand på hhv. 200, 300 og 400 m er tegnet opp sammen med registrerte skredblokker fra kjente hendelser siste 50 år (Figur 4-3). Figuren viser at de fleste blokkene på Tveitahaugen faller innenfor 200 m buffersonen, mens området på Kvernhusteigen og industriområdet faller innenfor 300 m buffer. At flogstein mot Kvernhusteigen har lengre utløp, i alle fall i 1975 hendelsen, kan skyldes at løsneområdet ligger høyere og at fjellsiden er mer vertikal. Fjellsiden er lavere mot Tveitahaugen og noe mer avtrappet.



Figur 4-3. Representative utslagspunkter i nedre del av fjellsiden og buffersoner som viser 200, 300 og 400 m horisontal avstand fra utslagspunktene.

De godt dokumenterte hendelsene anses som det beste grunnlaget for å bestemme faresoner for området, da disse representerer faktiske forhold og sier noe om hvor disponert de ulike områdene er for steinsprang og flogstein. De tre kjente hendelsene har falt ut fra ulike høyder (mellom 550 og 800 moh.), har ulikt volum (mellom 50 og 300 m^3) og fra ulike deler av fjellsiden. Hendelsene kan derfor brukes som grunnlag for hele kartleggingsområdet, og er vektlagt for utarbeidelse av 1/100 faresone. Faresone 1/5000 er mer teoretisk og kan i mindre grad utledes av kjente hendelser. Buffersonen på 400 m er derfor brukt for utarbeidelse av 1/5000-sonen, da dette er teoretisk kjente utløp med lav sannsynlighet per tomt. Flogstein kan i sjeldne tilfeller nå lenger, slik som utløpet til Skjeggedalsveien 23 og en ubekreftet opplysning om flogstein som nådde Tyssedal kirke. Sannsynligheten for slike ekstrem-utløp vurderes som lavere enn 1/5000.

Vurderte faresoner er vist sammen med utløp fra de tre kjente hendelsene i Figur 4-4. Fordelingen av registrerte skredblokker er i samsvar med de ulike sannsynlighetsklassene, slik at det er ca. 10 ganger færre blokker i 1/1000-sonen og ca. 50 ganger færre blokker i 1/5000-sonen i forhold til 1/100-sonen.



Figur 4-4. Vurderte faresoner vist sammen med registrerte skredutløp fra kjente hendelser.

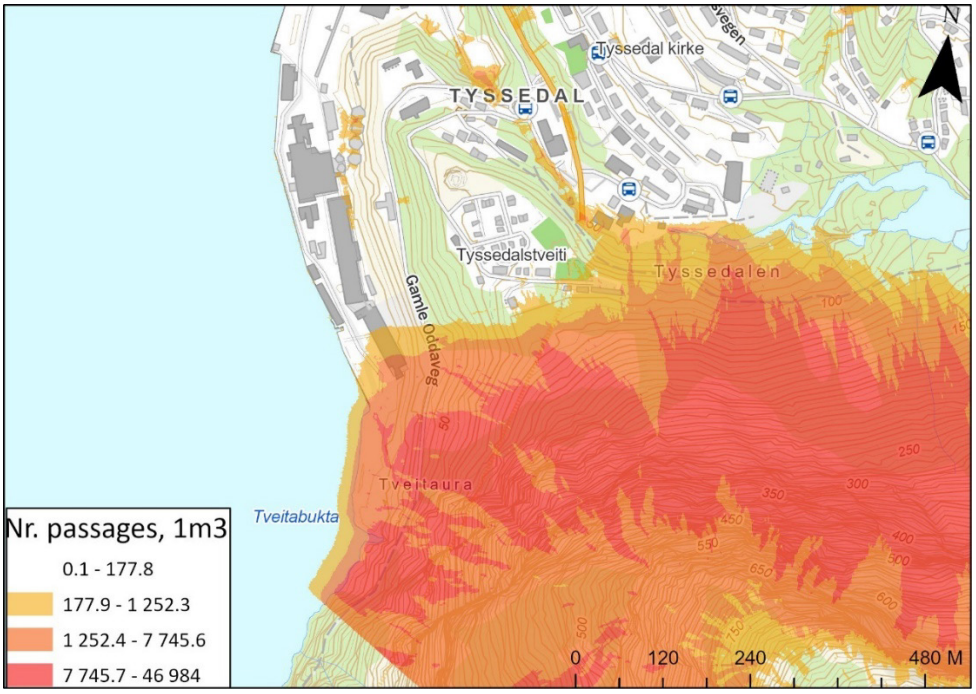
4.1.2.2 Blokker som følger terrenget

For vurdering av rekkevidde av blokker som følger terrenget er det uført noen oppdaterte utløpsberegninger med modellverktøyene Rockyfor3D og RAMMS Rockfall (se mer utfyllende beskrivelse av modellene i vedlegg A). Beregningene er gjort uten effekt av etablerte sikringsgjerder, men data er samlet inn langs linjer som representerer tiltaksplasseringen for å se på modellerte verdier for energi og spranghøyder. Inngangsparametere er gitt i Tabell 4-1. Det er brukt terrengmodell med 1m oppløsning og blokker med volum 1 m^3 uten variasjon i blokkvolum (Mo og Hefre, 2020). Densitet er satt til 2700 kg/m^3. Terrengegenskaper er valgt manuelt, basert på anbefalinger i modellenes respektive brukermanualer (Dorren, 2016 og RAMMS, 2016). Det er utløst 100 blokker fra hver celle i terreng brattere enn ca. 50°, men for RAMMS Rockfall er antall løsneceller redusert for å få ned beregningstiden.

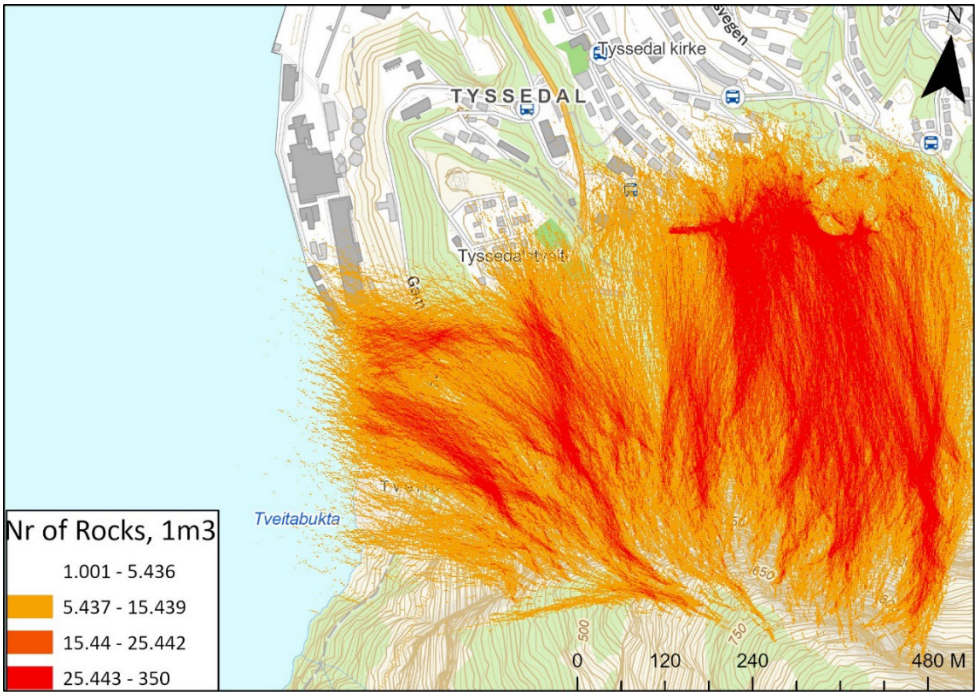
Tabell 4-1 Inngangsparametere for modellkjøring steinsprang

Lokasjon/ modellkjøring	Blokk-form	Blokk-størrelse	Terrengparametere	Skog
Tveitanuten/RAMMS Rockfall	Equant	1m3	Se figur A1-1 i vedlegg A	Nei
Tveitanuten/RockyFor3D	Ellipsoid	1m3	Se figur A1-2 i vedlegg A	Nei

Figur 4-5 og Figur 4-6 gjengir modelleringsresultat for hhv. *Nr_passages* i Rockyfor3D og *Number of rocks* i RAMMS Rockfall, som viser antall blokker som passerer gjennom hver rastercelle. Merk at det er et høyere antall simulerte blokker i Rockyfor3D som fører til ulikt antall blokker i hver klasse vist i tegnforklaringen, men klasseinndeling er lik for begge modeller, inndelt etter standardavvik i en normalfordeling.

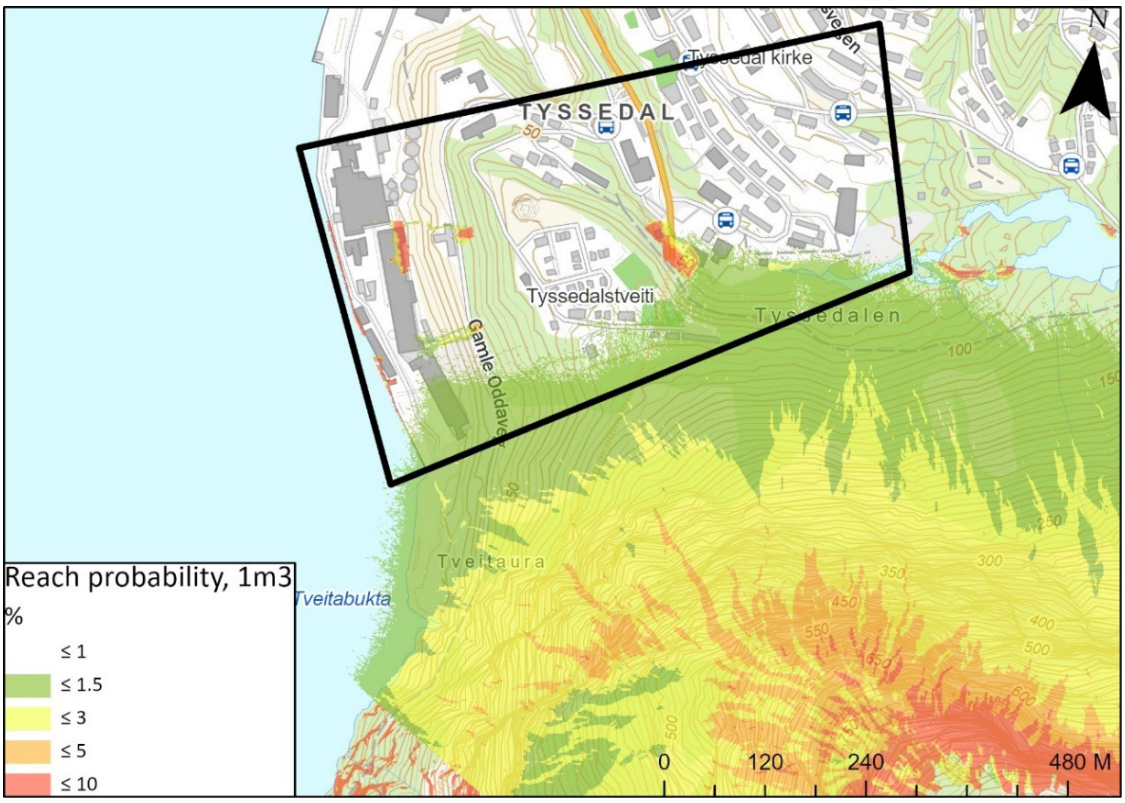


Figur 4-5. Nr_passages i Rockyfor3D som viser antall blokkpasseringer i hver rastercelle.



Figur 4-6. Number of rocks i RAMMS Rockfall viser antall blokkpasseringer i hver rastercelle.

Figur 4-7 viser samme modelleringsresultat fra Rockyfor3D, men som *Reach probability*, hvilket gir et prosenttall (mellom 0 og 100) som angir sannsynligheten for at en blokk passerer en gitt celle, beregnet utfra antall løsneområder som mater cellen. Denne parameteren vil ha maksverdi i toppen av løsneområdene og avta nedover fjellsiden. Brukermanualen (Dorren, 2016) oppgir at for *Reach_probability*, ved bruk av 100 simuleringer per celle i utløsningsområdet (som gjort her), kan verdier lavere enn 1 – 1,5 % anses som statistiske uteliggere, ettersom en slik probabilistisk modell naturlig vil inkludere urealistiske utløp som gir ikke-representative verdier. I Figur 4-7 representerer grønn farge verdier mellom 1 og 1,5 %. Verdier under 1 % er filtrert ut.



Figur 4-7. Reach probability *i Rockyfor3D viser sannsynlighet for at en av de simulerte blokkene havner i en gitt celle, beregnet utfra antall løsneområder som mater cellen.*

Figur 4-5 og 4-6 illustrer at simuleringer med RAMMS Rockfall gir lenger utløp enn hva som er observert i området, mens Rockyfor3D er mer i samsvar med observasjoner fra hendelser samt tidligere vurderinger av maksimal utbredelse av steinsprang fra Tveitanuten (som omtalt i kap. 3.5). Sammenligninger av de to modellene peker på at Rockyfor3D ofte gir pålitelige resultater for utløp uten kalibrering, mens det med RAMMS Rockfall må gjøres mer omfattende kalibrering, og ofte utover hva terreng-parametere i modellen korresponderer til (Mo og Hefre, 2020; Noel et. al., 2023a). En nærmere 'tuning' av RAMMS Rockfall er ikke utført i denne omgang, men diskutert i Vedlegg A, og vi har heller vektlagt resultatene fra Rocyfor3D. Avgjørende for endelige faresoner er likevel observasjoner og vurderinger knyttet til de kjente hendelsene, hvor

faren for flogstein blir dimensjonerende for utbredelsen av reviderte faresoner da disse har lengst utløp.

De dynamiske steinsprangmodellene gir vanligvis et godt inntrykk av hvordan terrenget påvirker steinsprangutløp, dvs. sprer, kanaliserer og styrer utløp. Disse modellene brukes derfor til å vurdere utbredelse av steinsprang i terrenget. For utbredelse viser begge modeller lavere sannsynlighet for steinsprang mot østlig del av Tveitahaugen samt området ved Skjeggedalsvegen 2 (Figur 4-5 og 4-6). Dette stemmer ikke med data fra dokumenterte hendelser (Figur 3-3), og kan skyldes at steinsprangene fra Tveitanuten i mindre grad beveger seg i kontakt med bakken, slik disse modellene simulerer steinsprangbevegelsen. Flogstein er hovedproblemet for området, noe disse modellene i liten grad fanger opp.

4.1.2.3 Effekt av eksisterende sikring mot steinsprang

Den eksisterende sikringen mot steinsprang er omtalt i kap. 3.6. Sikringen består av fanggjerder som har til hensikt å stoppe rullende blokker, og er ikke dimensjonert for å stoppe flogstein, til dette er høyden på gjerdene for lav. Under hendelsen i april 2023 kom enkelte blokker i høye sprang og to blokker ser ut til å ha passert over nettet, mens en blokk kappet av bunnwiren og passerte under nettet.

Basert på dokumentasjon fra hendelsen er det blokk nr. 12 og 18 (se Tabell 3-2 samt plassering i Vedlegg C) som har passert over nettet. Dette kan skyldes en ca. 5 m høy bergrygg nært gjerdet i østlig del, beliggende ca. 10-15 m i horisontal avstand fra gjerdet (Figur 4-8 og Figur 4-9). Bergryggen ligger nært gjerdet med omtrentlig samme høyde, og kan gi uheldige sprett av mindre blokker over gjerdet.

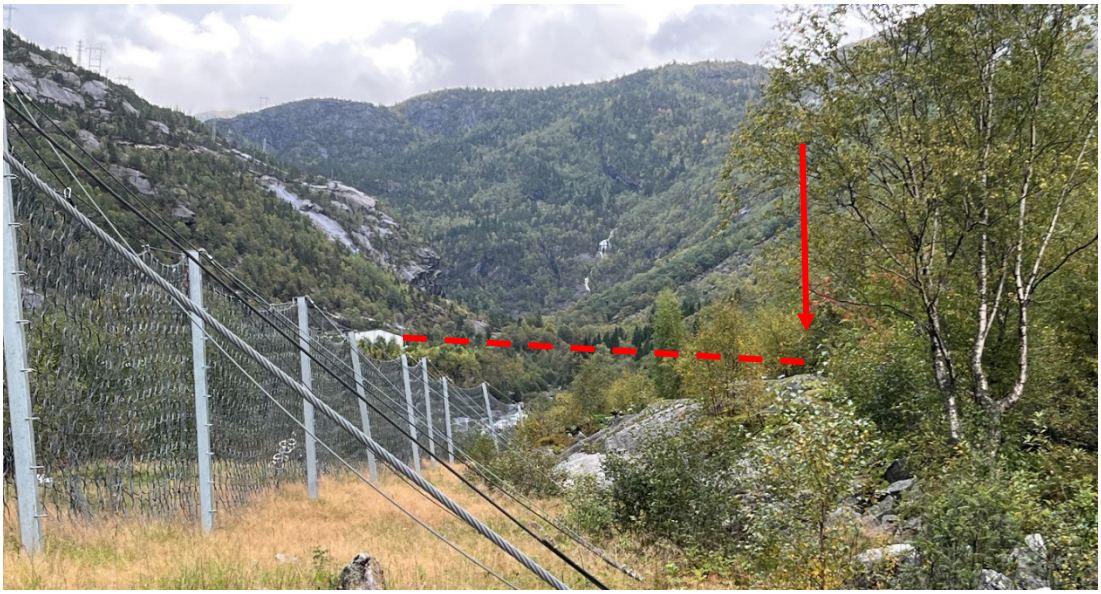
Under befaringen i terrenget ovenfor gjerdet september 2023 ble det observert overraskende få nedslag i terrenget. Dette indikerer en omfattende oppknusing av blokker, antagelig på de mange bergoverflatene, og dermed stor spredning av mindre blokker som følger høye og lange sprangbaner, og en relativt liten andel som følger terrenget (derav få nedslagspunkter i terrenget).

Det er liten tvil om at gjerdet ovenfor Tveitahaugen med fordel kunne vært høyere for å oppnå større sikringseffekt, samtidig vet vi at gjerdet ikke kan bli høyt nok for å sikre området mot de høye sprangbanene. For sikring ovenfor Tveitahaugen ble det først anbefalt en høyde på 8 m, teoretisk beregnet til å stoppe ca. 32% av alle blokker (inkl. flogstein) mot området (NGI, 2013). Det er derfor utfordrende å bestemme en «riktig» høyde, og eventuelle endringer i dagens sikring vurderes best ved en kost-nytte-analyse av de helhetlige forhold (se kap. 4.8).

Noen nye beregninger av spranghøyder og energi fra de mest anvendte dynamiske modellene Rockyfor3D og RAMMS Rockfall (som vist i kap. 4.1.2.2) er gitt i Vedlegg A. Det er vist gjennom tidligere studier at de ulike modellene gir store forskjeller i beregnede verdier, hvor RAMMS Rockfall gjennomgående gir høyere spranghøyder samt typisk høyere energier i nedre del av utløpsområdet hvor fanggjerder oftest plasseres (Myklebust, 2023). Våre beregninger viser samme funn, hvor RAMMS

Rockfall i dette tilfellet er vurdert å gi urealistisk høye verdier. Dette henger sammen med urealistiske lange utløp i modellen, og et behov for mer omfattende kalibrering som omtalt i kap. 4.1.2.2.

Dersom det er ønskelig å gjøre endringer i nåværende sikring anbefales det å gjøre nærmere analyser av noen utvalgte kritiske profiler med programvaren RocFall for å sammenligne med funnene fra Rockyfor3D. Ettersom det er store usikkerheter (og forskjeller) forbundet med de ulike modelleringsverktøyene for steinsprang, kan det også anbefales å teste modellen StnParabel for å få et større sammenlignings- og vurderingsgrunnlag (Noel et. al., 2023b; Noel et. al., 2020).



Figur 4-8. Bergrygg ca. 15 m bak gjerdet er ca. 5 m høy, tilsvarende høyde som gjerdet.



Figur 4-9. Bergrygg fra Figur 4-9 sett fra siden. Bergflaten kan gi uheldige sprett over gjerdet.

4.2 Steinskred

Vi har gjennomgått relevant grunnlagsmateriale (se. kap. 3.3) for vurdering av fare for steinskred fra Tveitanuten. Fjellsiden er høy og steil, og potensialet for steinskred er derfor til stede.

NGU foretar risikokartlegging av større ustabile fjellparti, og gjennomfører dette ved bruk av blant annet bakkebasert radar (InSAR) for å detektere saktegående bevegelse som kan indikere fare for utfall av større volum. NGU gjennomfører sin kartlegging med fokus på fjellskred med volum > 100 000 m^3, mens steinskred er partier < 100 000 m^3. Likevel vil disse undersøkelsene også kunne fange opp partier med mindre volum som kan kategoriseres som steinskred. Hordaland er under kartlegging av NGU og partiene er derfor ikke ferdig utredet. Temakart viser at det er identifisert et område sør for Tyssedal, ovenfor Lindenes som har navn Tveitanuten 2 og som er under kartlegging. Dette partiet kommer også tydelig fram i dataene fra satellittbasert InSAR hvor bevegelsen er godt synlig (InSAR Norway (ngu.no). Dette ustabile fjellpartiet vil ikke direkte påvirke kartleggingsområdet i Tyssedal, men sekundærvirkningen av en påfølgende flodbølge vil kunne ramme lavtliggende del av kartleggingsområdet (NVE Faresoner for store fjellskred). Hvor stor del som eventuelt kan rammes avhenger av forventede oppskyllingshøyder ved en slik flodbølge, og sannsynligheten for dette må videre utredes av NGU. Utredninger av dette faller utenfor omfanget av denne rapporten.

Fjellsiden til Tveitanuten mot Tyssedalen er nordvendt. Dette setter begrensinger for bruk av satellittbasert InSAR da satellitten er lite sensitiv for bevegelse i nord-vendte skråninger. Bevegelsen blir gjerne underestimert, og blir bare detektert om de har en tydelig vertikal komponent. NGUs InSAR Norge tjeneste viser at fjellsiden til Tveitanuten har lav punkttetthet ettersom den er så bratt at det blir få datapunkter fra satellitt. Enkelte partier har indikasjon på noe vertikal bevegelse, men dette er lokalisert i ura og indikerer ikke fare for steinskred.

Etter steinspranget i 20.04.2023 målte NVE med bakkebasert radar over en periode på 28 dager. Den ble plassert på Tveitahaugen med sikt til mesteparten av Tveitanuten. Radaren kan fange opp bevegelser ned mot 1 mm, men området som er i bevegelse må være minst 5-10 m i diameter for å sikre riktig tolking. Av denne grunn egner ikke radar seg for å fange opp steinsprang, men kan fange opp større partier slik som steinskred. I NVEs rapport står det: «Det ble målt bevegelser opp til 20 mm i flere mindre parti i fjellsiden, men områdene i bevegelse endret seg/flyttet seg i løpet av måleperioden. De største bevegelser ble målt i vestlig del, og steinsprang herfra vil antagelig gå mot fjorden og ikke ramme boligfeltet. Det ble ikke målt bevegelser i større deler av fjellsiden. Dette utelukker ikke at det kan være større ustabile deler, men aktiviteten var i så fall liten i radarens måleperiode» (NVE, 2023).

Ut fra observasjoner av fjellsiden med kikkert, gigapan-fotografi samt fra helikopter er det ikke funnet store partier som er delvis avløst, og kan klassifiseres som et potensielt steinskred-løsneområde (større enn anslagsvis 1000 m^3). Studier av flyfoto og skygge-kart gir heller ikke indikasjoner på steinskred. Det er likevel vanskelig å utelukke potensialet for steinskred fra fjellsiden, da det kan observeres plan med fall ut fra fjellsiden, samt steile sprekkesett som kan avløse små og større partier (Figur 4-10).



Figur 4-10. Fjellsiden ovenfor kartlagt område. Svarte piler peker på sprekkeplan med fall ut fra fjellsiden som kan avløse mindre eller større bergpartier og gi opphav til steinsprang og steinskred. Parti som ser noe avløst ut er vist med rød pil (NGI, gigapan.com/gigapans/128414).

Observert steinskredaktivitet ellers i Norge viser at de større bergpartiene knuses på sin vei ned fjellsiden, og blokkene går i sprang lignende steinsprang. Studier av steinskred-avsetninger og fjellskredavsetninger i Norge (volum fra ca. 1000 m^3) viser at volumene må være større enn 250 000 m^3 for at utløpet skal øke med volum og få høyere mobilitet. Skred mindre enn 250 000 m^3 beveger seg mer lignende steinsprang med fahrböschung (vinkel mellom løsneområde og maks utløp) > 31°. Disse funnene baserer seg på studier av over 400 skredavsetninger ulike steder i Norge (Velardi et. al. 2020; Kolstad, 2021; Gremmertsen, 2021). Det anbefales derfor å vurdere utløp med en 3D-steinsprang-modell, og modellene anvendt i kap. 4.1.2 kan derfor også brukes for vurdering av utløp for steinskred (NVE-veileder, 2023). Det er imidlertid påpekt i veilederen at identifisering av potensielle løsneområder for steinskred bygger på en grundig vurdering for å unngå at unødig store arealer omfattes av faresonene (NVE, 2023).

Basert på manglende identifisert bevegelse fra utførte bakkebaserte radar-undersøkelser; ingen klare store steinskred-partier i fjellsiden som peker seg ut som ustabile; manglende steinskred historikk og avsetninger i området som går lenger enn hva som er vurdert

relevant for steinsprang, mener vi det ikke foreligger grunn på nåværende tidspunkt å utarbeide mer konservative faresoner på bakgrunn av fare for steinskred. De ustabile partiene som er observert vurderes å være av en moderat størrelse (store steinsprang – små steinskred) som vil knuses opp på sin vei ned den bratte fjellsiden, og oppføre seg som steinsprang. Vi mener denne faren er fanget opp i utredningen i kap. 4.1 og resulterende faresoner. De nyere forskningsstudiene av steinskred fra Norge vist til i avsnittet over støtter også at utløp av steinskred kan vurderes lignende som for steinsprang, og at steinskred ikke har økende utløp med økende volum.

Det kan likevel anbefales å gjennomføre radarmålinger av fjellsiden årlig en periode for å kunne konkludere nærmere om det er bevegelse i større partier. Dersom det skulle vise seg å være slik bevegelse vil dette være gunstig å kjenne til da det er bebyggelse innenfor utarbeidede faresoner. Dette er utenfor omfanget av faresonevurderinger, men NGI kan bistå med denne typen overvåkningskampanje dersom det er ønskelig. Laserscanning av fjellsiden hvor en målbar 3D-modell genereres kan også være interessant for å gjøre volumberegninger og kinematiske analyser av potensielt ustabile partier.

4.3 Snøskred

4.3.1 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Fjellsiden under Tveitanuten er for bratt for å kunne samle snø og løse ut snøskred. Det er ikke observert tegn til eller registrert historisk snøskredaktivitet i det aktuelle området. Nye aktsomhetskart for snøskred (NAKSIN) indikerer ura (opp til 270 moh.) som teoretisk løsneområde for snøskred. Beregnet gjennomsnittlig bruddhøyde i NAKSIN er 3.0 meter, hvilket gir lange teoretiske snøskredutløp utover Tveitahaugen (Figur 3-13). Ura er bratt nok til at snøskred kan løsne, men den har stor ruhet som vil redusere løsnesannsynligheten.

I dette området er 300-års snøhøyde beregnet å være 2.0 meter (se Klimaanalysen i kap. 3.4). Ura i området består av grov stein med flere bergrygger som omtalt i kap. 4.1.2, slik at med de snømengder som vanligvis finnes i området har overflaten stor ruhet (Figur 4-10). I ekstreme tilfeller med mye snø på bakken kan snøskred løsne i ura. Løsnesannsynlighet for snøskred fra ura er vurdert til å være rundt 1/100 – 1/300 per år. Ut fra lokal historikk har vi ikke kjennskap til at det har gått større skred i dette området tidligere, så større skred forventes å opptre sjeldent.



Figur 4-11. Uren under Tveitanuten er bratt nok til å være teoretisk løsneområde for snøskred, men har stor ruhet (dronefoto fra Norconsult 2023).

4.3.2 Utredning av utløp

Vi har modellert mulige snøskred fra ura for å se nærmere på utbredelse og rekkevidde. Snøskred er modellert med bruk av SAMOS, og modellen er nærmere beskrevet i Vedlegg A. Det er benyttet 5 m terrengmodell, og faste utløste volum med parametersett som angitt under.

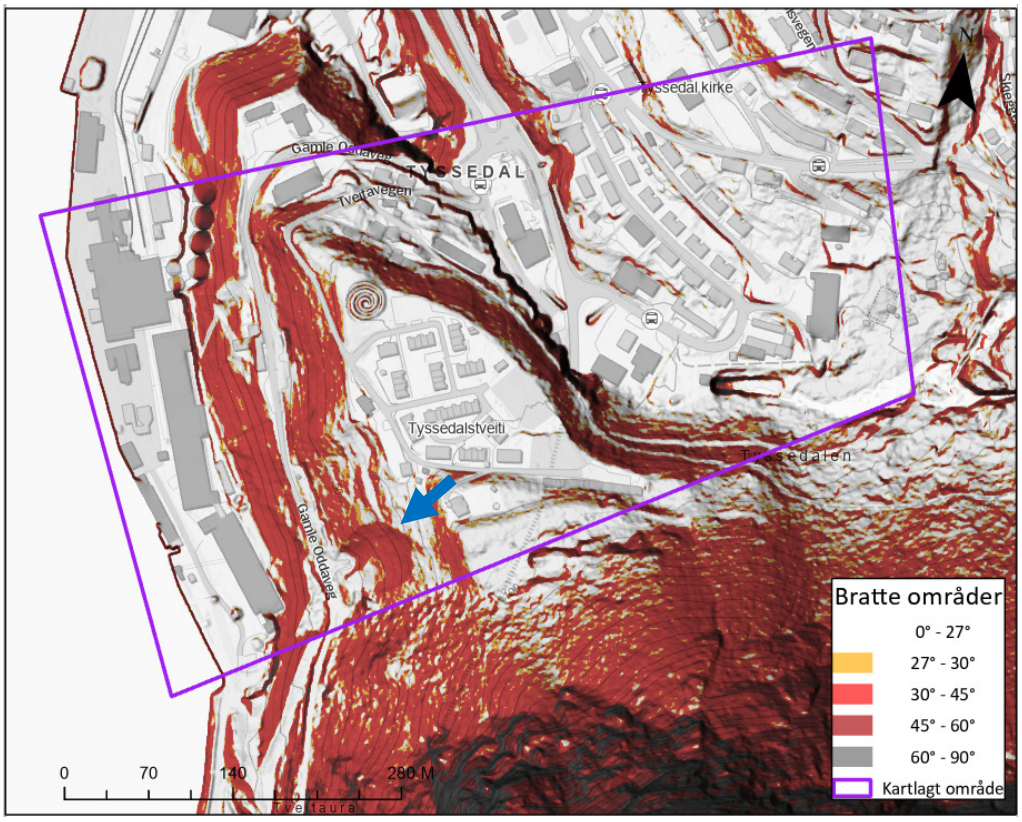
Coulomb friksjons-parametere $\mu = 0.3$
Skjærstyrke = 100 Pa
Maks erosjonsdybde = 0.25 m
Tetthet er satt til 200 kg/m³; som for løs tørr snø

Bruddhøyde er basert på returverdiene fra SeNorge, og det er utløst en masse på 200 kg/m^2, tilsvarende ca. 1 m bruddhøyde. Det er ikke forventet vinddrift inn i aktuelle løsneområder, da de er lavtliggende under fjellsiden. Ettersom ruheten er høy i løsneområdet, og tilførsel av vindtransportert snø er begrenset, er simulerte skred vist i Vedlegg D vurdert å representere returperiode sjeldnere enn 1/1000. Det er svært store blokker samt noen tverrgående bergrygger i nedre del av ura som vil bidra til oppbremsing av snøskred og redusere medrivingen. Faresone for snøskred med nominell årlig sannsynlighet 1/1000 er vurdert å falle innenfor faresone 1/100 for steinsprang/-flogstein og berører ikke bebyggelsen (S2-bygg). Steinsprang/flogstein er vurdert å være dimensjonerende faretype i området.

4.4 Jordskred

Ovenfor Tveitahaugen er fjellsiden svært bratt uten løsmasser i øvre del, og består av svært grove urmasser i nedre del som ikke kan føre til jordskred. Vi kjenner ikke til at remobilisering av blokker i ura har vært en problemstilling for området. Ved slik remobilisering vil blokkene bevege seg som steinsprang med vesentlig lavere energi på grunn av lav fallhøyde, og slik bevegelse betraktes å være inkludert i vurderingen av steinsprang.

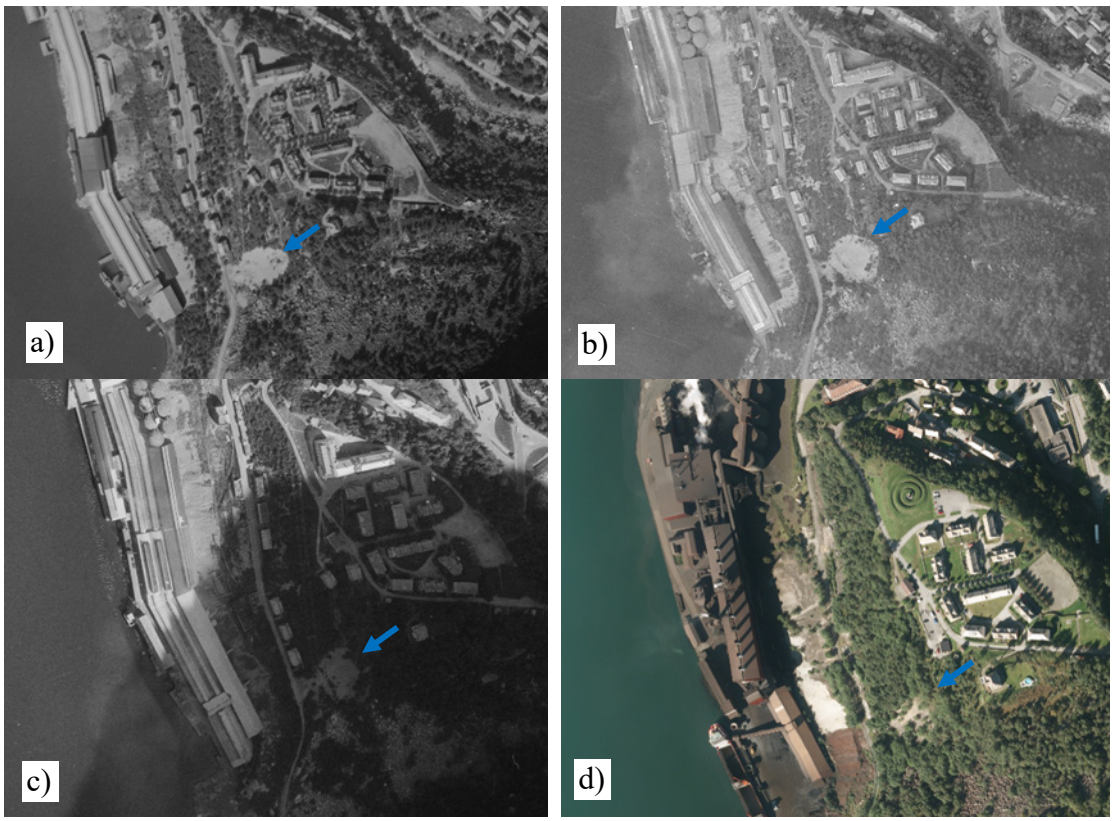
Selve Tveitahaugen er en glasifluvial terrasse som er avsatt fra smeltevannselver fra breene under sist istid. Slike terrasser er svært vanlige i Norge, og er ofte bebygget. Terrasseskråningene står på naturlig rasvinkel for massene (> 30°) og er betinget stabile, hvor betingelsen er at massene er drenert. Glasifluviale masser består typisk av stein, grus og sand, som er avrundet og sortert av breelvene. Disse er grovere masser som er drenerte, og utrasing i slike masser oppstår typisk ved erosjon i skråningen av rennende vann. Skyggekart med helning av er vist i Figur 4-12.



Figur 4-12. Skygge og helningskart som viser terrasseskråningen under Tveitahaugen. Pilen indikerer en grop antatt å være rester av et gammelt massetak.

Vi ser ingen spor etter erosjon eller ras i skråningen fra skyggekart, bortsett fra en grop indikert med pil i Figur 4-12. Det går en veiavstikker fra Gamle Oddaveg inn til denne gropa som er antatt å være et gammelt massetak anlagt før 1948 med en utvidelse før

1964 og senere tilgroing, synlig fra flybilder vist i Figur 4-13. At dette er et massetak er antatt basert på mangelen på skredavsetning i underkant av gropa samt veien som går inn her. Massetak er vanlig i glasifluviale avsetninger, da disse sand og grusavsetningene er gode og drenerende byggematerialer.



Figur 4-13. Flyfoto fra hhv. a) 1948, b) 1964, c) 1981 og d) 2010 med pil som indikerer sår i terrenget fra antatt massetak.

Terrassen på Tveitahaugen er en utstikkende rygg og har begrenset mulighet for ansamling av vann. Vann fra fjellsiden går i grunnen under den grove ura, og går ikke ned til Tveitahaugen. Det er ikke spor etter erosjon fra detaljert terrengmodell (Figur 4-12), men derimot indikerer skyggekartet at terrasseskråningen har stått stabilt etter den ble formet etter istiden for ca. 10 000 år siden, sett bort fra menneskelige inngrep. De høyeste skråningene på vestsiden er ca. 20 og 30 m høye hhv. under og ovenfor Gamle Oddaveg. Skråningene er vegetert med forholdsvis tett og kraftig skog, særlig i de høyeste vestlige skråningene (Figur 3-2 og Figur 4-13d). Dette er løv- og furuskog som har dypere røtter og bidrar til å stabilisere løsmassedekket, hindre erosjon og redusere sjansen for overflateutglidninger. Større skred i disse massene som kan føre til betydelig skade vurderes å ha årlig nominell sannsynlighet lavere enn 1/5000.

4.5 Flomskred

Det er ingen forsenkninger eller bekkeløp brattere enn 15° hvor det er løsmasser, eller hvor løsmasser kan bli tilgjengelig som følge av andre skredprosesser innenfor påvirkningsområdet. Fare for flomskred utredes derfor ikke videre.

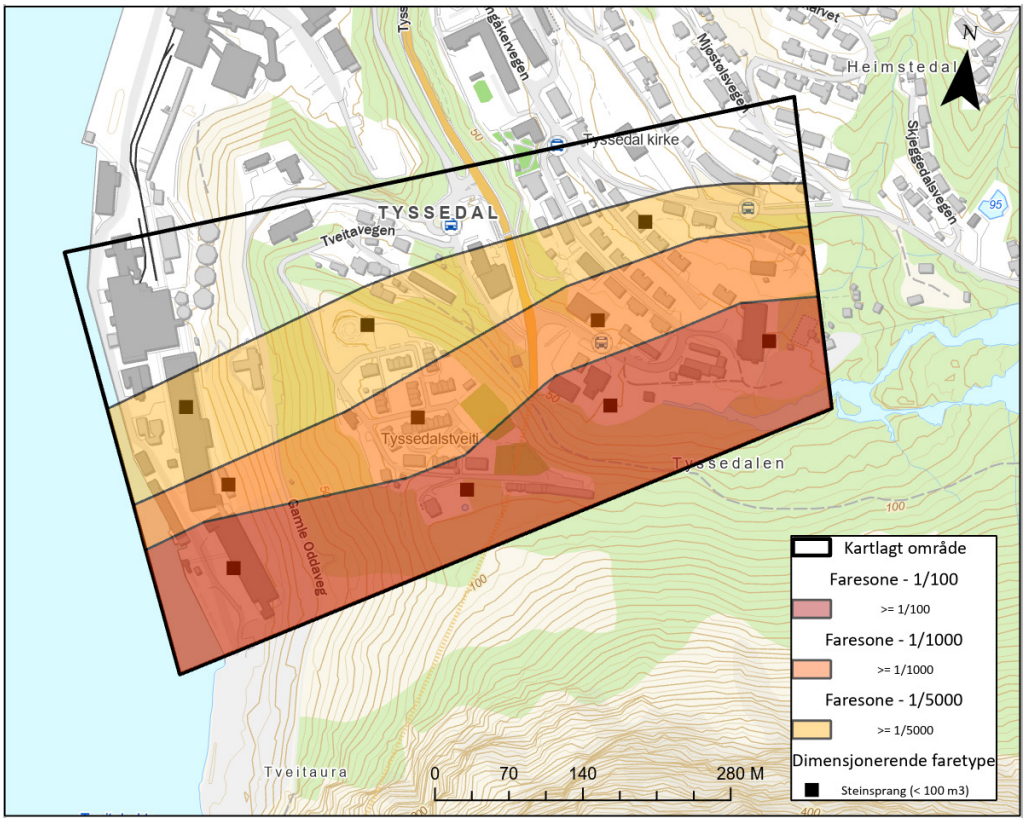
4.6 Sørpeskred

Det er ikke identifisert potensielle utløsningsområder for sørpeskred innenfor påvirkningsområdet, det vil si forsenkninger eller bekkeløp som kan samle vann i snødekket. Det er heller ikke observert tegn til eller registrert historisk sørpeskredaktivitet i området. Fare for sørpeskred utredes derfor ikke videre.

4.7 Hva er den samlede skredfaren?

Samlede faresoner for skred mot kartlagt område er vist i Figur 4-14. Steinsprang er dimensjonerende faretype for området, hvor utløp av flogstein er bestemmende for utbredelsen av faresonene. Sannsynligheten for flogstein er vurdert ut fra kjente hendelser og rekkevidde-betraktninger for det aktuelle området. Innenfor 1/100-sonen er det forsøkt å angi en 50-ganger høyere treffsannsynlighet for flogstein enn for 1/5000-sonen, basert på registrerte utløp fra kjente hendelser siste 50 år. Sistnevnte sone er basert på kjente maksimale utløp for området, dvs. ca. 400 m fra foten av fjellsiden.

Tiltak i form av fanggjerder mot steinsprang er etablert i området i 2020/2021. Tiltakene bedrer sikkerheten mot rullende blokker, men er ikke dimensjonert for å stoppe flogstein. De etablerte sikringstiltakene i området påvirker derfor i liten grad de aktuelle faresonene hvor flogstein er dimensjonerende.



Figur 4-14. Reviderte faresoner for skred hvor steinsprang med tilhørende flogstein er dimensjonerende faretype.

4.8 Sikkerhet for eksisterende bebyggelse

Utarbeidede faresoner skiller seg fra tidligere ved at faren for flogstein er inkludert i vurderingen. Argumentasjonen for dette er gitt i kap. 3.1. Faren for flogstein er størst når det gjelder uteareal, men kan også påføre (mindre) skade på bygg. Byggeforskriften TEK17 §7-3 åpner for at kravene til sikkerhet for tomtens tilhørende uteareal kan reduseres en sikkerhetsklasse, da eksponeringstiden for personer her er lavere. Det vil si at for bolighus (med færre enn 10 boenheter) og kontorbygg (for opptil 25 personer) kan sikkerheten for uteområdet reduseres til 1/100 og bygg utenfor 1/100-sonen oppnår da tilfredsstillende sikkerhet mot flogstein.

Kravene til sikkerhet mot skred i byggeforskriften gjelder for ny bebyggelse og har ikke tilbakevirkende kraft. Det vil si at eksisterende bebyggelse verken har krav til å innfri disse kravene eller kan kreve å oppnå tilsvarende sikkerhet. For eksisterende bebyggelse er det heller relevant å utføre nytte-kost vurdering av risikoreduserende tiltak, for å kunne redusere risikoen så mye som praktisk mulig. Dette er et vanlig prinsipp innen risikoaksept, og kalles ALARP-prinsippet (NGI, 2023b; DNV, 2017). ALARP står for «*As Low As Reasonably Practicable*», og brukes om risikoområdet hvor risikoen ikke kan anses å være akseptabel lav eller uakseptabelt høy. I disse tilfellene skal risikoen

reduseres «så mye som praktisk mulig» og sikring gjøres etter ALARP prinsippet[2]. Samfunnsøkonomisk lønnsomme risikoreduserende tiltak er kjennetegnet ved at samfunnets samlede nytte ved å redusere risikoen overstiger samfunnets kostnader av å gjennomføre tiltaket. Fysiske sikringstiltak mot flogstein er derimot svært vanskelig å gjennomføre, og det er i tidligere utredninger ikke funnet tilstrekkelig gode sikringsløsninger mot flogstein som er økonomisk gjennomførbare.

4.8.1 Utbedring av etablerte fanggjerder

Basert på erfaringer fra siste steinspranghendelse er det noen mindre utbedringer som anbefales gjennomført for fanggjerdet ovenfor Tveitahaugen, som sannsynligvis vil ha høyere nytte en kostnad, i en nytte-kost-analyse:

- Sørge for at bunnwire av gjerdet ikke ligger mot berg for å unngå at wire kan kappes av og slippe gjennom steinsprang. Forsterking med to bunnwirer bør vurderes.
- Innernettet (steinsprangnett) må kunne stoppe bergfragmenter og flogstein som kan ha høy energi. Under sist hendelse måtte innernettet repareres flere steder. Nettet bør erstattes med et steinsprangnett som har høyere bruddstyrke på stålet.
- Bedre innfesting av fangnett til toppwire for å oppnå full høyde. Som vist i Figur 3-6 er nå høyden på gjerdet noe redusert etter sist hendelse, og nettet bør festes bedre opp til toppwire for å oppnå full høyde.

Videre kan gjerdet med fordel være høyere, som diskutert i kap. 4.1.2.3. Hvor høyt gjerdet bør være er derimot utfordrende å avgjøre, da faren for flogstein som passerer nettet uansett vil være til stede. Det vil dermed være en restrisiko for flogstein, og en helhetlig nytte-kost-analyse bør gjennomføres før eventuelle større og mer kostnadskrevende endringer gjøres for nåværende sikring.

Det er først og fremst østlig del av gjerdet ovenfor Tveitahaugen hvor høyden vurderes å være for lav. Særlig uheldig er den nærmeste bergryggen mhp. effektiv høyde på gjerdet. En mulighet som kan vurderes er å sprenge bort (hele eller deler av) denne ryggen og legge på dempende grusmateriale, som et rimeligere alternativ til å erstatte gjerdet med et som er høyere.

Hvis man skal gå videre med større endringer av eksisterende tiltak må det gjøres nærmere beregninger, som beskrevet i kap. 4.1.2.3. Dette er ikke utført i denne fasen, da flogsteinproblemet og eventuelle tiltak mot dette først bør avklares.

4.9 Avvik fra tidligere skredfareutredninger

Faresonene fra NGI (2012) er i denne rapporten revidert for å inkludere flogstein. Dette skyldes aktiviteten i fjellsiden som tydelig viser flogsteinproblematikken. Steinspranghendelsen i 2023 utløste kommunens behov for å revurdere sonene under Tveitanuten

[2] ALARP prinsippet: Et hvert mulig risikoreduserende tiltak skal gjennomføres med mindre tiltaket vil medføre urimelige store forsinkelser, komplikasjoner, gjennomføringsvansker og/eller kostnader satt opp mot den risikoreduksjon som oppnås

og se på hvordan flogstein iht. regelverket kan inkluderes i faresonene. Dette er gjort i foreliggende rapport, og begrunnelsen for inkludering av flogstein er gitt i kap. 3.1.

I tillegg er det siden 2012 etablert sikringstiltak i form av fanggjerder mot steinsprang ovenfor Tveitahaugen og Skjeggedalsveien 2. Disse tiltakene bedrer sikkerheten mot rullende blokker, men er ikke dimensjonert for å stoppe flogstein. Det er utløp av flogstein som er dimensjonerende for reviderte faresoner ettersom flogstein har lenger utløp enn blokker som følger bakken. De etablerte sikringstiltakene i området påvirker derfor i liten grad de reviderte faresonene.

4.10 Stedsspesifikk usikkerhet

Tveitanuten er en svært høy fjellside med mange potensielt ustabile partier, og det er knyttet stor usikkerhet til å vurdere stabilitet for hvert enkelt parti, og derfor samlet løsnesannsynlighet for fjellsiden. Vurderinger av løsnesannsynlighet er derfor knyttet opp mot tidligere skredhendelser. I tillegg er det en ekstraordinær utfordring med flogstein mot kartleggingsområdet som gir usikkerhet med hensyn på beregning av treffsannsynlighet per tomtebredde. Sannsynlighet for flogstein er anskueliggjort i denne rapporten ved å vise til tidligere hendelser og utredet tilsvarende som for andre steinsprangutredninger.

5 Konklusjon

Det er utarbeidet reviderte faresoner for området under Tveitanuten hvor fare for flogstein er inkludert. Erfaringer fra hendelser siste 50 år viser at flogstein er hovedutfordringen for kartleggingsområdet, og flogstein er dimensjonerende faretype for de reviderte faresonene. Tiltak i form av fanggjerder mot steinsprang er etablert i området i 2020/2021. Tiltakene bedrer sikkerheten mot rullende blokker, men er ikke dimensjonert for å stoppe flogstein. De etablerte sikringstiltakene i området påvirker derfor i liten grad de aktuelle faresonene.

Flogstein forstås som en del av steinspranget, og må inkluderes i faresonene etter TEK17 der det kan føre til fare for liv og helse. Flogstein er i første rekke en fare for personer som oppholder seg utendørs, og tomtens tilhørende uteareal er også omfattet av regelverket. Det anbefales ikke å videreutvikle området som er utsatt for flogstein med ny bebyggelse. I så fall må det gjøres i tråd med teknisk regelverk, hvor S2 bygg kan etableres utenfor faresone 1/100, og S3 bygg kan etableres utenfor faresone 1/1000, dersom man tillater å gå ned en sikkerhetsklasse for tilhørende uteareal, slik loven åpner for.

Eksisterende bebyggelse har ikke eksplisitte krav til sikkerhet, da loven ikke har tilbakevirkende kraft. Videre vurdering av risikoreduserende tiltak for eksisterende bebyggelse anbefales derfor utført etter kost-nytte-prinsippet, hvor kostnaden av tiltaket må vurderes opp mot nytten av risikoreduksjonen det kan gi.

6 Referanser

Dolvik, T. 2024. Skredhistorikk Tyssedal. Oppsummerende notat med referanser skredhendelser omtalt i NSDB og i lokalaviser.

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

DNV (2017). Spouge, J., 2017. Risk criteria – how safe is safe enough? Risk criteria – how safe is safe enough? (dnv.com) [11.09.2023]

Fischer, L.., Purves., R.S., Huggel, C., Noetzli, J., Haeberli, W. (2012) On the influence of topographic, geological and cryospheric factors on rock avalanches and rockfalls in high-mountain areas. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12. Göttingen: Copernicus Publications.

Gauer, P. & Kristensen, K., (2023) Remarks on the Uncertainty in the Delimitation of Hazard Zones Based on Historical Observations, International Snow Science Workshop Proceedings 2023, Bend, Oregon p. 788-794

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

Gremmersten, C. Empirisk mobilitetsanalyse av steinskred i Oppland og vurdering av InSAR Norge som predikativt verktøy. Masteroppgave ved UiO våren 2021.

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

Jaedicke, C., A. Solheim, L. H. Blikra, K. Stalsberg, A. Sorteberg, A. Aaheim, K. Kronholm, D. Vikhamar-Schuler, K. Isaksen, K. Sletten, K. Kristensen, I. Barstad, C. Melchiorre, Ø. A. Høydal, and H. Mestl, 2008. Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 893–904, published 19.08.2008

Jørstad, F. (1979) Veiledning ved undersøkelser av og sikring mot steinskred. NGI Rapport 54705-1. Oslo: Norges geotekniske institutt.

Kolstad, S. T., 2021. The controlling factors for runout lengths for “steinskred” in Hordaland. Masteroppgave ved NTNU September 2021.

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

Mo, K. og Hefre, H. 2020. Uttesting av eksisterende metodikk for modellering av steinsprang. NVE ekstern rapport nr. 24/2020. NGI-rapport nr. 20200299-01-R. Datert 05.12.2020.

Myklebust, I. N., 2023. Testing og vurdering av modellverktøy for dimensjonering av steinspranggjerde. Masteroppgave ved UiO. http://www.duo.uio.no/ Mai 2023.

NGI, 2012. Odda kommune. Skredfarekartlegging. Dok.nr. 20120472-02-R. Datert 7.12.2012.

NGI, 2013. Tyssedal, Odda kommune. Sikring mot skred for bebyggelse under Tveitanuten. Dok. nr. 20120559-01-R. Datert 28.06.2013.

NGI, 2019. Sikringstiltak i Tyssedal, Odda kommune. Revidert søknad for sikring av bebyggelse i Tyssedal. Dok.nr. 20120559-05-TN Rev. 01 datert 15.11.2019.

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

NGI, 2023a. Nye aktsomhetskart for snøskred i Norge. NAKSIN 4 – Dokumentasjon. NVE Ekstern rapport nr. 24/2023.

NGI, 2023b. Utredning om risikoaksept flom og skred. Dok.nr. 20230421-01-R. Datert 02.11.2012. Utført på oppdrag for Olje- og energidepartementet.

Noel. F. et. Al. 2023a. Comparing Flow-R, Rockyfor3D and RAMMS to Rockfalls from the Mel de la Niva Mountain: A Benchmarking Exercise (researchgate.net). Geosciences 13(7):200. June 2023

Noel, F. et. al. 2023b. Highly energetic rockfalls: back analysis of the 2015 event from the Mel de la Niva, Switzerland April 2023. Landslides 20(8):1-22. April 2023.

Noël, F. 2020. StnParabel. Available online: https://stnparabel.org/ (besøkt 05.01.24)

Norconsult, 2023. Skredsikring Skjeggedalsvegen 2. 5194354-RA-INGGEO-04.

NVE, 2023. Veileder for utredning av skredfare i bratt terreng. URL Veileder - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak (nve.no) Versjon fra 11.12.2023.

NVE, 2023b. Radarmålinger etter steinsprang i Tyssedal, Ullensvang kommune. Internt notat. NVE, seksjon for skred. 13.06.2023. Ref. 202307486.

NRK. 2023. Bil og garasje knust av steinras i Hardanger: – Bra at lærlingen ikkje sat i bilen – NRK Vestland [11.12.2023]

Palau, R.M. Gisnås, K., Gilbert, G.L, og Solheim, A., 2023. Meteorological thresholds for regional scale rockfall early warning in Norway. Norwegian geotechnical institute. 3rd JTC1 Workshop. Oslo 2023.

RAMMS, 2016. RAMMS::ROCKFALL User Manual v.1.6. [URL http://ramms.slf.ch/ramms/downloads/ RAMMS_ROCK_Manual.pdf

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

Statens vegvesen (2017): Risikovurdering av steinsprangfare på Oppdølsstranda Samling av bakgrunnsmateriale. Rapportnr. 2600. Datert 17.06.17

Velardi, G. Hermans, R. L. Penna, I. Böhme, M. 2020. Prediction of the reach of rock slope failures based on empirical data from Norway. ISRM International Symposium Eurock 2020. Trondheim, Norway 14-19 June.

Disclaimer

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

7 Svar til uavhengig kvalitetssikring fra Norconsult

I forbindelse med skredfarekartlegging som NGI har utført for Ullensvang kommune i Tyssedal har det blitt gjort uavhengig kvalitetssikring (UKS) av Norconsult (datert 26.04.2024). Det er enkelte avvik fra veileder som ikke er godkjent i UKS (status AVVIK), og disse er enten svart ut i tabellen under eller rettet opp. Det er også enkelte anbefalinger til forbedringer (status ANM), og disse er delvis tatt til følge, men uansett vurdert og kommentert i tabellen under.

ID nr	Henvisning til kapittel	Kontrollmerknad UKS	Status UKS	NGIs tilsvar
1	Generelt om rapporten i henhold til NVE Veilederen.	Rapporten inneholder alle nødvendige kapitler, vurderinger og vedlegg i henhold til NVE Veilederen. Det foreligger for øvrig enkelte avvik som anbefales rettet opp for at rapporten oppfyller krav i henhold til NVE-veilederen, samt anmerkninger som bør tas til følge.	AVVIK	Avvik er utbedret.
2	Skjema for sidemannskontroll og referanseliste		OK	
3	Sammendrag og innhold		OK	
4	1.Innledning	Sammenheng med referansepunkt 6. Inkluder gjerne påvirkningsområdet på figur 1-1. I så fall trenger ikke punkt 6 å være avvik.	ANM	Utbedret.
5	1.1 forbehold		OK	
6	2 Områdebeskrivelse	Det mangler kart med inntegnet påvirkningsområde i områdebeskrivelsen. Ser dette foreligger i vedlegg.	AVVIK	Utbedret.
7	2 Områdebeskrivelse	Kartleggings- og påvirkningsområde bør tegnes inn på figur-2-1.	ANM	Ikke endret.
8	2 Områdebeskrivelse	Det foreligger ikke figurkart som viser terrenghelning med kartleggings- og påvirkningsområde.	ANM	Henvisning til Vedlegg B som viser dette er lagt til i teksten.
9	3 Metodikk og datagrunnlag		OK	
10	3.1 Farevurdering etter TEK17 og inkludering av flogstein		OK	
11	3.2 Digitale terrengmodeller (DTM)	Skyggekart bør legges ved i kapittelet, da dette gir mye informasjon til leser, samt er en viktig del av vurderingene knyttet til avsetninger og terrengformer.	ANM	Utbedret.

ID nr	Henvisning til kapittel	Kontrollmerknad UKS	Status UKS	NGIs tilsvar
12	3.3 Effekt av skog	Norconsult er enig i at skogen ikke har betydning for skredfaren innenfor kartleggingsområdet. Det hadde vært fordelaktig å vise et bilde i dette kapittelet av skogen og/ eller kart som viser kronedekning og/eller DBH i området.	ANM	Utbedret.
13	3.4 Klima-tologiske data		OK	
14	3.5 Tidligere utredninger / kartlegginger i området	Faresonekartet fra tidligere utredning i 2012 bør presenteres. Oversiktsbilde av skredområdet og løsneområdet etter hendelsen i 2023 (Norconsultrapporten figur 6 til 8) bør inkluderes i rapport.	ANM	Utbedret. Foto av løsneområdet er inkludert under hendelser i kap. 3.7.
15	3.6 Eksisterende sikringstiltak	Presisering av tekst: «Da kommunen fikk støtte til sikring med fanggjerder har Norconsult gjennom-ført detaljprosjektering av tiltakene og beholdt anbefalingene til høyde og kapasitet fra NGI (2019).». Norconsult har ikke gjennomført detalj-prosjektering, men bistått kommunen i forbindelse med utarbeidelse av konkurranse-grunnlag. På oppdrag fra Ullensvang kommune har Norconsult vurdert om nåværende plassering ved Skjeggedalsvegen 2, gir tilstrekkelig sikkerhet for forretningsbygget på eiendommen opp mot gjeldende sikkerhetskrav i TEK 17. Det mangler henvisning til rapport 5194354-RA-INGGEO-04 «Skredsikring Skjeggedalsvegen 2.» som bør nevnes i rapporten.	ANM	Korrigert. Inkludert.
16	3.7 Historiske hendelser	Viktige og aktuelle tidligere skredhendelser er nevnt og diskutert. Alle tilgjengelige kilder er benyttet. Man kunne med fordel lagt ved noe flere bilder fra oversendt grunnlag til Norconsult.. Savner eventuelle bilder fra skredhendelsene i 1975 og 2012 dersom dette finnes, hvor det er presisert at det foreligger detaljert kunnskap (ANM). Det er presisert at det kunstige utløste stein-spranget i 2012, ikke kan brukes til vurdering av løsnesannsynlighet. Norconsult er enig i at dette kan benyttes til å vurdere fremtidige utløp.	ANM	Inkludert bilder fra 1975.
17	3.8 Bruk av modeller	Utdypet i vedlegg A1.	OK	

ID nr	Henvisning til kapittel	Kontrollmerknad UKS	Status UKS	NGIs tilsvar
18	3.9 Andre datakilder benyttet i vurderingen	Det er nevnt at flyfoto, løsmasse- og berggrunns-kart, InSAR, database for ustabile fjellparti og skogsdata fra NIBIO er benyttet og gjennomgått i skredfarevurderingen. Norconsult mener informasjon fra løsmasse- og berggrunnskart bør presenteres i rapport i henhold til NVE-veileder (ANM). Norconsult savner noe mer presentasjon av skogsdata fra NIBIO (kronedekningskart og/eller DBH), (ANM). InSAR og ustabile fjellparti. Diskutert i steinskred-kapittelet. (OK). Aktsomhetskart for steinsprang, jord- og flomskred og NAKSIN snøskred er ikke presentert eller diskutert. Dette bør inkluderes (ANM).	ANM	NGU kartene er vurdert å ikke gi ekstra verdig (berg-grunnskartet er kun rosa, da hele området er granitt hvilket er beskrevet). Løs-massekartet er for grovt og gjengir ikke virkelig-heten (1:250 000). Grunn-forhold er tekstlig beskrevet i kap. 2 og relevante avsetninger er detaljert kartlagt i registreringskartet. Skogkart er nå inkludert. Aktsomhetskart er nå omtalt og vist i kap. 3.9.
19	4.1 Steinsprang 4.1.1 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet	Aktuelle løsneområder er beskrevet og registrert i registreringskart. Frekvens på steinsprang-hendelser er diskutert (flogstein hvert 30 – 40 år). Svært god bildekvalitet over den nordvendte delen av fjellsiden via Gigapan, som viser mye av løsneområdene.	OK	
20	4.1.2 Utredning utløp 4.1.2.1 Flogstein	Vurdering av utløp basert på tidligere flogstein-hendelser er lagt til grunn, med størst vekting knyttet til faresoner. Kjente hendelser er benyttet til 1/100 faresonen. Buffersonen på 400 m er benyttet for 1/5000 faresonen. Steinsprang som løsner høyt i fjellsiden gir lange utløp, når dette går over til flogstein. Terreng-formasjonen som gir flogsteinproblematikk er diskutert. Utslagspunkter og avstander er diskutert og visualisert. Buffersoner er vurdert. Årsak til lengre utløp i 1975 er diskutert, med bakgrunn i løsneområde og terrengformasjon.	OK	
21	4.1.2.2 Blokker som følger terrenget.	RAMMS:Rockfall og Rockyfor3D er benyttet for vurdering av utløp for blokker som følger terreng. Modellering er kjørt uten effekt av sikringsgjerdet. Input-RAMMS:Rockfall- modelleringer: En mulig grunn til at RAMMS:Rockfall gir noe urealistiske utløp og spranghøyder som tidligere omtalt i	ANM	NGI sier seg enig i vurderingene fra Norcosult, og at

ID nr	Henvisning til kapittel	Kontrollmerknad UKS	Status UKS	NGIs tilsvar
		rapporten, er at det er valgt «extra hard» i fjellsiden og «hard» i deler av ura. Norconsult vurderer at det er brukt for konservativ materialparameter for ura (ANM). Materialparameter må vurderes i henhold til ruheten på ura. Ved høy ruhet bør det benyttes en terrengparameter som gir større demping. Våre erfaringer viser også at «hard» gir mest realistisk resultat for hardt grunnfjell i Norge (ANM). Faresoner ser OK ut iht. modelleringer og kjente steinspranghendelser. Modellenes resultat og validitet er diskutert. Flogstein er vurdert som dimensjonerende skredtype. Effekt av terreng i kartleggingsområdet påvirker ikke flogsteinutløpet. Norconsult er enig i dette.		modelleringen gir for konservativt resultat er også fremholdt og diskutert i rapporten. Det er ikke utført nye modelleringer i denne omgang da dette ikke har betydning for de vurderte faresonene, men det er anbefalt å gjøre nye modelleringer dersom man vil gå videre med mer detaljerte vurderinger av sikring (vedlegg A).
22	4.1.2.3 Effekt av eksisterende sikring mot steinsprang	Eksisterende gjerde har ikke effekt på flogstein, på grunn av for lav høyde (OK). Sprett i flogstein grunnet en bergrygg 10-15 m ovenfor gjerdet skyldes høye utløpsbaner av flogstein (OK). Spranghøyder og energi er benyttet til å vurdere gjerdets effekt. Lite nedslag er observert ovenfor gjerdet, noe som tyder på omfattende oppknusing (OK). Det er ikke mulig å stoppe alle flogstein ved å øke høyden på gjerdet. Sikringstiltak må vurderes basert på kost-nytt-prinsippet (OK). RAMMS:Rockfall gir noen ganger urealistiske høye spranghøyder, som er diskutert som tilfelle her. Norconsult støtter anbefalingen om å vurdere spranghøyder langs noen kritiske profiler i RockFall til sammenligning med Rockyfor3D. NGI kunne med fordel ha vist til aktuelle resultater fra NGI-rapporten datert 15.11.2019 (ANM).	ANM	Henvisninger er brukt for å slippe å gjengi. Ettersom det er mye historikk og tidligere materiale i denne saken mener vi gjengivelse vil føre til en uhensikts-messig lang og omfattende rapport.
23	4.2 Steinskred	Det er nevnt at ustabile fjellparti i nærliggende områder kan forårsake flodbølge i de nedre deler av kartleggingsområdet. Vurdering av dette ansvaret ligger ikke hos NGI. (OK). Insar viser få datapunkter grunnet nordvendt fjellside.	AVVIK	Utbedret.

ID nr	Henvisning til kapittel	Kontrollmerknad UKS	Status UKS	NGIs tilsvar
		Steinskred defineres som utfall av masser over 100 m3. Det observeres plan med fall utover fjellsiden, og steile sprekkesett som avløser forholdsvis store bergpartier. Norconsult mener at steinskred ikke kan utelukkes for sjeldne tilfeller. I henhold til NVE-veileder skal steinskred vurderes som en del av standard faresonekartlegging. Vurdering av steinskredfaren må utredes (AVVIK).		
24	4.3 Snøskred 4.3.1 Utredning av løsneområde og løsne-sannsynlighet	Fjellsiden nedenfor Tveitanuten er for bratt til at snøskred kan løsne (OK). Vurderte løsnesannsynligheter i ura er OK.	OK	
25	4.3.2 Utredning av utløp	Gitt vurderingen til NGI: Det er modellert utløp for et 1/1000 års scenario ved bruk av SAMOS. Utløp og faresone for 1/1000 er vurdert innenfor faresone 1/100, og er derfor ikke dimensjo-nerende. Slik snøskredfaren er fremstilt i rapporten, mener Norconsult at snøskredfaren bør komme bedre fram, siden dette påvirker eventuelle bygninger som havner innenfor sikker-hetsklasse S2. Utbredelse av snøskred blir rele-vant med tanke på valg av sikringstiltak for be-byggelse. Modellert scenario for 1/1000 viser at snøskred potensielt kan ramme øvre del av bebyggelsen på Tveitahaugen og Skjeggedalsvegen. Det bør derfor utarbeides eget faresonekart for snøskred for å visualisere hvilken del av bebyggelsen som er utsatt. Når det er sagt: Norconsult stiller spørsmål om modellert scenario for snøskred kan være for konservativt. Dette med utgangspunkt i lokal kunnskap til området og historikk som viser at det ikke har gått større snøskred her tidligere. Nedre del av ura består av svært store blokker, noe som vil føre til oppbremsing/ reduksjon i medrivning. Vi ser at NGI har tatt hensyn til medrivning i modelleringen. NGI bør vurdere om modellert scenario heller burde representere 1/5000 års-scenario. Modelleringsresultatet viser også påfallende høye hastigheter.	ANM	Det står i rapporten at 1/1000-faresoner for snøskred er innenfor 1/100-faresoner for steinsprang. Dette er nå presisert ytterligere med at faresone 1/1000 for snøskred ikke når fram til bebyggelsen (S2-bygg), og det er derfor ikke vurdert behov for egne faresoner for snøskred. NGI sier seg enig i at det er høye modellerte hastigheter vist i Vedlegg D og derfor viser et scenario sjeldnere enn 1/1000. Dette er justert i rapportteksten.
26	4.4 Jordskred	Det finnes aktuelle skråninger brattere enn 20 grader med urmasser og løsmasser. Det burde vært nevnt om remobilisering kan være en aktuell prosess i ura (ANM). Ovenfor fabrikken er det skråninger brattere enn 20 grader som består av løsmasser, innenfor	AVVIK	Utbedret.

ID nr	Henvisning til kapittel	Kontrollmerknad UKS	Status UKS	NGIs tilsvar
		kartleggingsområdet (se figurer under). Disse må vurderes (AVVIK). Norconsult kan bistå med bildemateriell.		
27	4.5 Flomskred	Det er ingen forsenkninger eller bekkeløp brattere enn 15° hvor det er løsmasser, eller hvor løsmasser kan bli tilgjengelig som følge av andre skredprosesser innenfor påvirkningsområdet (OK).	OK	
28	4.6 Sørpeskred	Det er ikke identifisert potensielle utløsningsområder for sørpeskred innenfor påvirkningsområdet, det vil si forsenkninger eller bekkeløp som kan samle vann i snødekket. Det er heller ikke observert tegn til eller registrert historisk sørpeskredaktivitet i området (OK).	OK	
29	4.7 Hva er den samlede skredfaren?	Eventuell utarbeide eget faresonekart for snøskred, i henhold til kommentar 25 (ANM). Vurdering av mulige faresoner for steinskred og jordskred må vurderes i henhold til kommentar 23 og 26.	AVVIK	Utbedret iht. kommentarer over.
30	4.8 Sikkerhet for eksisterende bebyggelse	Faren for flogstein er størst knyttet til uteareal. Grunnet lavere eksponeringstid utendørs kan sikkerheten for uteområder reduseres med en sikkerhetsklasse (OK). For bolighus (med færre enn 10 boenheter) og kontorbygg kan sikkerheten til uteområdet reduseres til 1/100. Norconsult mener det bør presiseres at det er kontorbygg for opptil 25 personer (ANM). «Bygg utenfor 1/100-årssonen oppnår da tilfredsstillende sikkerhet.» Her bør det igjen presiseres nærmere hvilke bygg (ANM). Risiko skal reduseres for eksisterende bebyggelse med ALARP-prinsippet (OK).	ANM	Inkludert.
31	4.8.1 Utbedring av etablerte fanggjerder		OK	
32	4.9 Avvik fra tidligere skredfarevurderinger		OK	
33	4.10 Stedspesifikk usikkerhet		OK	

ID nr	Henvisning til kapittel	Kontrollmerknad UKS	Status UKS	NGIs tilsvar
34	5. Konklusjon	Viser til tekst «…S2 bygg kan etableres utenfor faresone 1/100, og S3 bygg kan etableres utenfor faresone 1/1000, dersom man tillater å gå ned en sikkerhetsklasse for tilhørende uteareal,» Det bør presiseres at dette gjelder kun for flogstein. Hva med snøskred? Modelleringsresultater for S2-scenario, viser at flere bygg kan bli truffet. Fanggjerdet er ikke nødvendigvis et fullgodt tiltak for snøskred. Konklusjon må oppdateres etter kommentar 29 er tatt til følge.	ANM	Snøskred vurderes ikke å true S2-bygg med nominell årlig sannynlighet høyere enn 1/1000. Se svar til kommentar 25. Konklusjon i rapporten er derfor ikke endret.
35	Referanser		OK	
36	Disclaimer		OK	
	Vedlegg	A1.1: Input i Rockyfor3D- modelleringer (OK) A1.2: Vedlegg som viser modellerte steinsprangbaner i RAMMS:Rockfall eller Rockyfor3D skal visualiseres på kart i vedlegg i henhold til rapportmalen i NVE-veilederen (Vedlegg A2) (ANM). A3.1: OK A3.2: OK I henhold til veileder bør alle kartvedlegg ha avgrensningen til kartleggings- og påvirknings-området. Inntegning av påvirkningsområde mangler på vedlegg D – Modelleringskart Snøskred og Vedlegg D – Faresonekart (ANM). Faresonekartet bør få eget vedleggsnummer, f.eks vedlegg E (ANM). Vedlegg C – kartnr. C2 mangler avgrensningen av kartleggingsområdet i sør (ANM). Det er vurdert mulige løsneområder for snøskred i ura. Utstrekning bør tegnes inn i registreringskart (både C1 og C2) (ANM).	ANM	Anmerkninger delvis tatt til følge .

Vedlegg A

MODELLBESKRIVELSER OG
TILLEGGSRESULTATER

Innhold

A1 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av steinsprang 2
A1.1 RockyFor3D 2
A1.2 RAMMS Rockfall 4
A2 Tilleggsresultater fra steinsprangmodellering Tyssedal 5
A3 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av snøskred 6
A3.1 Statistisk-empirisk modell (α/β-modellen) 6
A3.2 SAMOS-AT 7

A1 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av steinsprang

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

A1.1 RockyFor3D

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

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

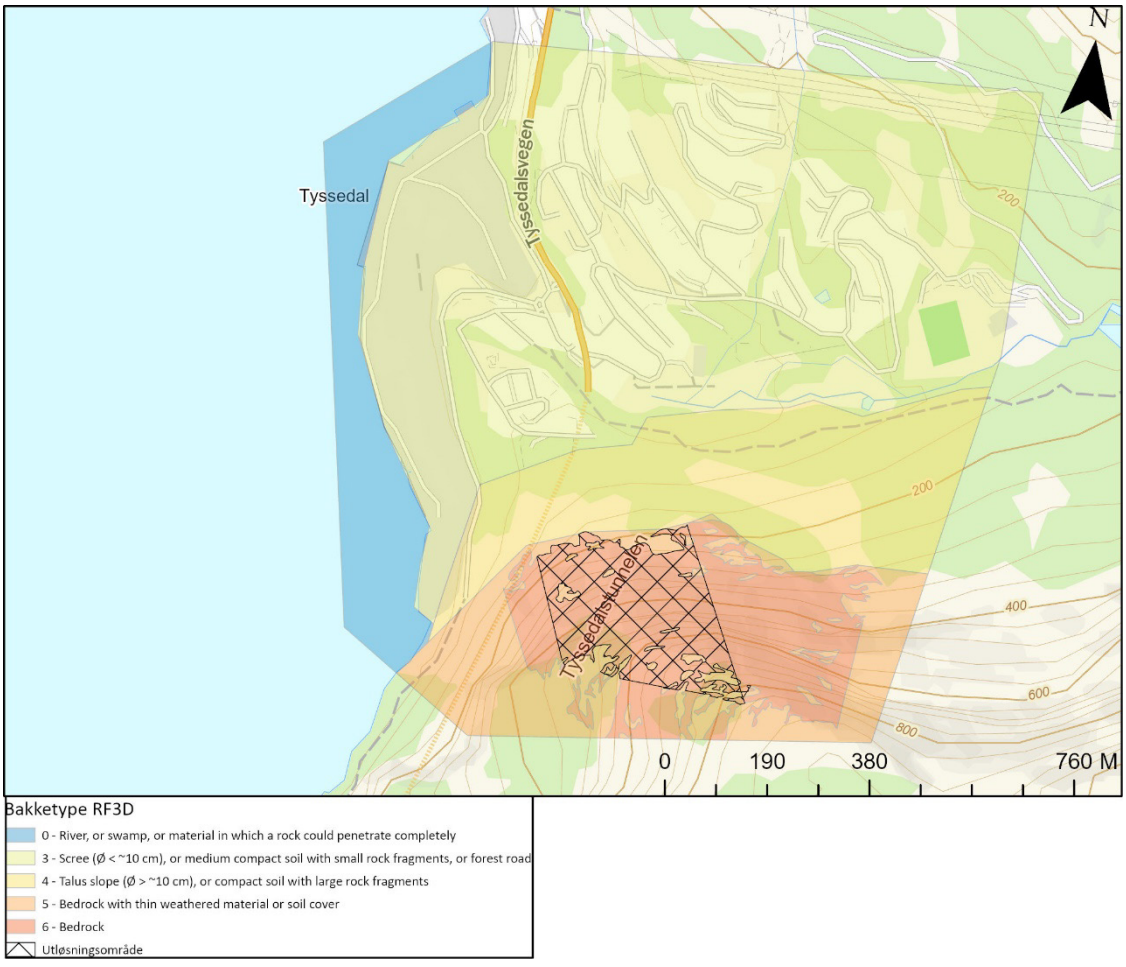
Parametere som må inkluderes i modellen er kort beskrevet under:

- Terrengmodell
  - Terrengmodellen (raster) som ønskes brukt
- Beregningsområde
  - Et polygon som definerer hvilket område beregningene skal kjøres for
- Bakketype
  - Det er åtte forskjellige forhåndsdefinerte bakketyper som kan velges, for å beskrive de ulike underlag i skredbanen. Bakketypen gir elastisiteten til underlaget og er direkte knyttet til verdier for normalrestitusjon av modellen. Vi har valgt bakketyper som vist i Figur A1-1, i tråd med observert terreng og beskrivelse i brukermanualen for modellen[1].
- Kildeområde
  - Ett eller flere polygon som angir potensielle kildeområder for steinsprang. Form og mål (lengde x bredde x høyde) på blokker må defineres for hvert kildeområde.
- Overflateruhet
  - Terrengets overflateruhet. Denne "ruheten" skal representere høyden på skredblokker som ligger i terrenget og utgjør hindringer i skredbanen. Ruheten angis som høyden (i meter) på hindringene over terrengoverflaten, representativ for 70%, 20% og 10% av det definerte bakketypepolygonet, sett i blokkas fallretning. Dette måles objektivt, da programmet tar hensyn

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

til blokkas størrelse i forhold til hindringene i terrenget. Overflateruheten brukes i modellen til å beregne tangentiell restitusjonskoeffisient, og denne parameteren bestemmer derfor energitap under støt med overflaten. Modellen er sensitiv til denne parameteren, og den må derfor undersøkes og bestemmes i felt.

- Antall simuleringer per celle
  - Antall blokker som simuleres fra hver celle i kildeområdet
- Variasjon av blokkvolum (%)
  - Gir mulighet til å legge inn variasjon av forhåndsdefinert blokkvolum. Det er her ikke lagt inn variasjon i blokkvolum.
- Ekstra startfallhøyde (m)
  - Blokker kan gis ekstra oppstartsenergi ved å gi dem ekstra fallhøyde i starten. 10m er valgt.



Figur A1-1. Valgt bakketype for modellering i Tyssedal med Rockyfor3d.

A1.2 RAMMS Rockfall

RAMMS::Rockfall er et program for simulering av steinsprang. Modellen ble tilgjengelig i april 2015, og er utviklet av SLF (Swiss Federal Research Institute WSL) og WSL (Institute for Snow and Avalanche Research SLF) i samarbeid med ETH (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich). Programmet bruker en hard-contact, rigid-body tilnærming, og baserer seg på blokk/bakke interaksjon med friksjonsparametere som påvirker blokkens overflate. Her vil hard-contact, rigid-body fremstillingen påføre bremsende krefter på blokkens kanter og hjørner. Blokkens form vil derfor bli tatt hensyn til i blokk/bakke interaksjonen.

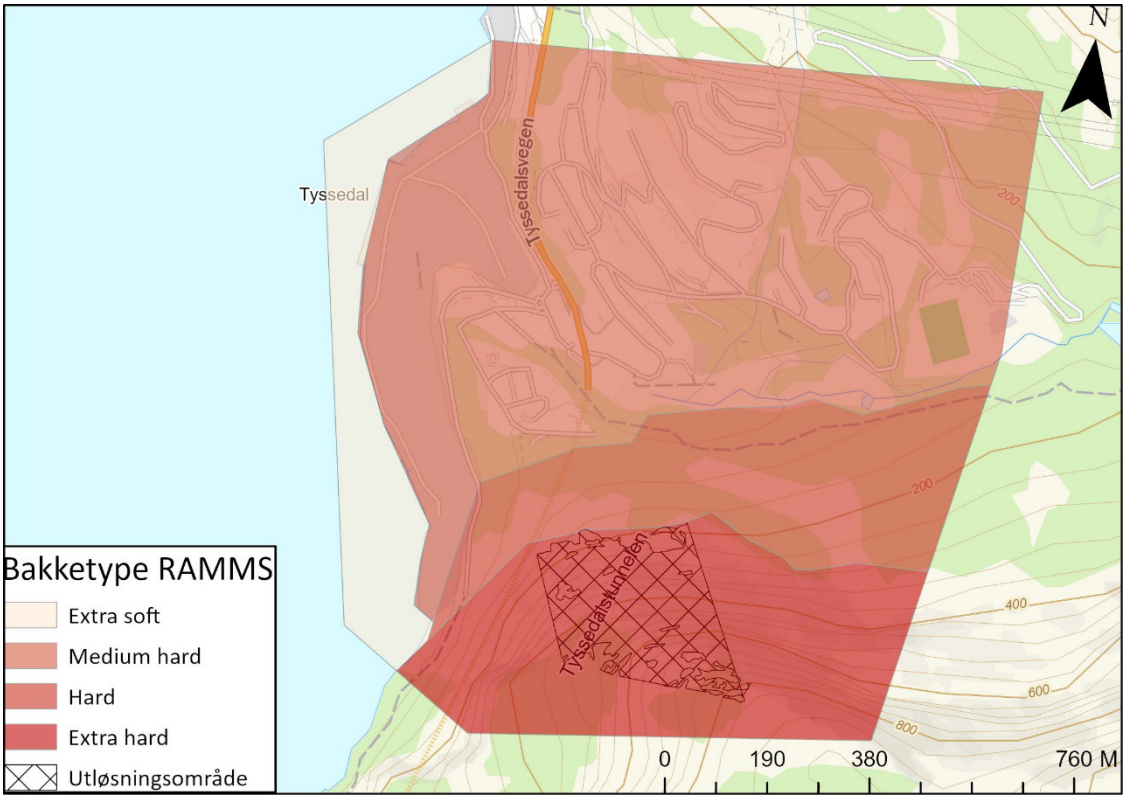
Et komplekst terreng modelleres ved å bruke en digital terrengmodell med høy oppløsning. Minste anbefalte oppløsning er satt til 5 m. På grunn av modellens deterministiske natur har modellen en økt prosesseringstid ift. Rockyfor3D som gjør at oppløsningen på terrengmodellen må økes og/eller størrelsen på utløsningsområdet reduseres slik at færre blokker simuleres. Løsneområdet defineres enten som punkt, linje eller polygon. For områdene i dette prosjektet er løsneområdene definert som linjer langs toppen av brattskrentene.

Variasjon i sprangbanene oppnås ved variasjon i startbetingelsene, dvs. blokkform og blokkorientering ved utløsning. Detaljerte beskrivelser av modellens oppbygning finnes i brukermanualen[2]. Ruhet og hardhet på terrenget inkluderes i modellen ved å kartlegge de forskjellige terrengtypene ut fra feltobservasjoner, hellingskart eller flybilder. Terrengkategoriene er:

- Extra soft
- Soft
- Medium soft
- Medium
- Medium hard
- Hard
- Extra hard
- Snow

Valgt bakketype for modelleringen i Tyssedal er vist i Figur A1-2. Valgt bakketype er tilpasset beskrivelse/omtale i manualen. Blokkene i modellen kan defineres realistisk ved bruk av verktøyet "*real rock geometries*" som er blokkformer samlet inn ved å laserskanne blokker i felt. Disse blokkformene eksisterer i modellen, og volumet kan endres av brukeren. Blokkene i programmet blir ikke fragmentert, men vil bestå som hele blokker gjennom hele simuleringen. Modellen inkluderer også gyroskopiske krefter som er introdusert av rotasjon av blokkene.

[2] RAMMS, 2016. RAMMS::ROCKFALL User Manual v.1.6. [URL http://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_ROCK_Manual.pdf



Figur A1-2. Valgt bakketype for modellering i Tyssedal med RAMMS.

A2 Tilleggsresultater fra steinsprangmodellering Tyssedal

I forbindelse med utløpsberegninger for faresonevurdering ble det samlet inn data langs linjen hvor fanggjerder er plassert, ovenfor Tveitahaugen og Skjeggedalsveien, med modellene Rockyfo3D og RAMMS Rockfall (Tabell 2-1). Som omtalt i rapporten er modellene ikke kalibrert til et bestemt utløp, og dermed heller ikke mot et definert sikkrehetsnivå (som for eksempel 1/300 eller 1/1000). Modellen inkluderer alle steinsprang som passerer tiltaksplasseringen, også de med lavere sannsynlighet eller urealistiske utløp. Dette er en av grunnene til at maksimale verdier ikke bør brukes for dimensjonering. Rockyfor3D inkluderer urealistiske utløp (1-1,5 % av utløpene er statistiske uteliggerere) og RAMMS Rockfall har påviselig for ekstremt utløp og trenger nærmere kalibrering i dette tilfellet, som omtalt i rapporten. Vi ser av Tabell 2-1 at det er store forskjeller mellom de to modellene, hvor Rockyfor3d vurderes å gi mest realistiske verdier. Det er vist gjennom tidligere studier at RAMMS Rockfall gjennomgående gir høyere spranghøyder samt typisk høyere energier i nedre del av utløpsområdet hvor fanggjerder oftest plasseres[3]. Våre beregninger viser samme funn, hvor RAMMS Rockfall i dette tilfellet er vurdert å gi urealistisk høye verdier.

[3] Myklebust, I. N., 2023. Testing og vurdering av modellverktøy for dimensjonering av steinspranggjerde. Masteroppgave ved UiO. http://www.duo.uio.no/ Mai 2023.

Tabell 2-1. Data fra utløpsberegninger ifm. faresonering. RAMMS Rockfall vurderes i dette tilfellet å gi urealistiske verdier. Tilpassede beregninger må gjøres for nærmere vurderinger av dimensjonering av sikringstiltak.

		Antall passeringer	E_50	E_90	E_95	SH_50	SH_90	SH_95
Tveitahaugen	Rockyfor3D	38490	330	990	1265	0,9	4,1	5,8
	RAMMS:Rockfall	N/A	801	2967	4051	2,0	11,6	16,5
Skjeggedalsveien	Rockyfor3D	8175	503	1064	1354	0,8	1,4	2
	RAMMS:Rockfall	N/A	1623	4273	5440	4,9	32,0	37,2

A3 Modeller for beregning av skredutbredelse og rekkevidde av snøskred

Modellene som oftest blir brukt for utløpsberegninger av snøskred i Norge er den topografisk statistiske α/β-modellen[4], blokkmodellen PCM[5] og strømningsmodellen RAMMS[6] som beskriver utbredelsen av skredet i to horisontale dimensjoner.

A3.1 Statistisk-empirisk modell (α/β-modellen)

Den statistiske/topografiske α/β-modellen er utviklet ved NGI og gir maksimal utløpsdistanse utelukkende som en funksjon av topografi. Likningene for utløpsdistanse er funnet ved regresjonsanalyse, og korrelerer den lengste registrerte utløpsdistansen i mer enn 200 skredbaner med et utvalg av topografiske parametere. Parameterne som har vist seg å være mest betydningsfulle er gitt Tabell 3-1.

Tabell 3-1 Topografiske parametre for beregning av maksimal utløpsdistanse

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

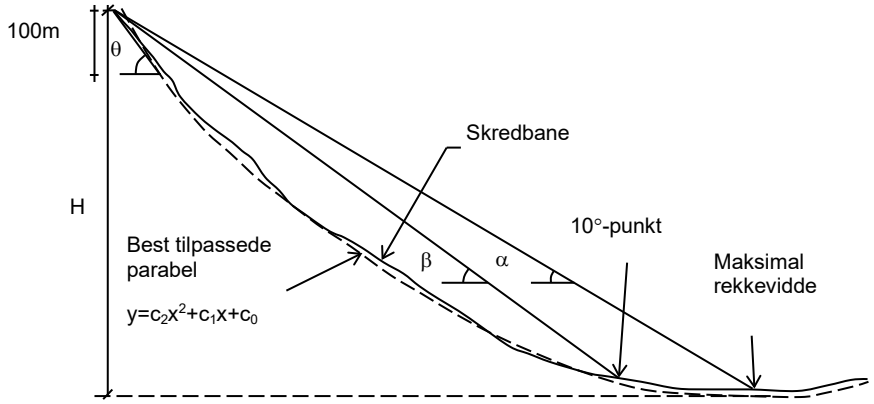
[4] Lied, K. og Bakkehøi, S. (1980). Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-Out Distance Based on Topographic Parametres. Journal of Glaciology, 26 (94), 165-177.

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

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

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

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



Figur 3-1: Topografiske parametere som beskriver terrengprofilet.

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

A3.2 SAMOS-AT

For dynamisk modellering av snøskredutløp er modellen SAMOS-AT anvendt. Alle løsneområder er simulert enkeltvis og er utført med en utløsningssannsynlighet for relativt store snøskred (≥ R3; SWAG, 2016).

SAMOS-AT, utviklet i 2007 ved AVL List GmbH i Østerrike, er etterfølgeren av SAMOS, som var i bruk fra 1999[7][8]. En kort beskrivelse av modellen finnes i[9]. Sampl

[7] Zwinger, T.; Kluwick, A. & Sampl, P. (2003) Numerical Simulation of Dry-Snow Avalanche Flow over Natural Terrain, Dynamic Response of Granular and Porous Materials under Large and Catastrophic Deformations, Springer Basel AG, 2003, 11, 161-194
[8] Sampl, P. & Zwinger, T. (2004) Avalanche simulation with SAMOS, Annals of Glaciology, Int Glaciological Soc, 2004, 38, 393-398
[9] Sampl, P., og Granig, M. (2009). Avalanche simulation with SAMOS-AT. In: Proceedings of the International Snow Science Workshop Davos 2009. Sider 519–523

og Granig, mens Sailer m.fl.[10] og Granig m.fl.[11] (2009) gir informasjon om validering og eksempler. Modellen kobler sammen en kvasi-3D (dybdemidlet) modell for den tette delen av snøskred og en 3D-modell for snøskya, dvs. det turbulente laget av relativt lav tetthet som utvikler seg på overflaten av tørre snøskred.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

τ_0 er en skjærstyrke i snøen som brukes for små skred for at de skal stoppe tidligere. Faktoren som multipliserer μ, lar Coulomb-friksjonen variere fra $2\mu\bar{\sigma}_{zz}$ ved $R_s = 0$ til $\mu\bar{\sigma}_{zz}$ ved $R_s \to\infty$. R_S beskriver graden av fluidisering som forholdet mellom $\rho\mathbf{u}^2$ og σ_{zz}^b, med antagelsen at $\rho\mathbf{u}^2$ er proporsjonal med det dispersive trykket som skyldes sammen-

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

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

støt mellom snøpartikler pga. tøyning i skredet. I den siste termen erstattes g/ξ i RAMMS (eller k i MoT-Voellmy) med et fluiddynamisk uttrykk for motstandskoeffisienten til en turbulent grenselagsstrømning over en ru overflate. k = 0,43 er von Kármáns konstant, R_D overflateruheten (en lengde), og B_D en empirisk konstant. Parameternes standardverdier er $\tau_0 = 0$, μ = 0,155, R_{s0} = 0,222, R_D = 0,1 m og B_D = 4,13. Med disse verdiene er koeffisienten til den turbulente motstanden (siste term i ligningen) lik 0,011 ved h = 1 m og 0,0068 ved h = 2 m.

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

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

For R_P brukes en formel med tre empiriske konstanter for å ta med effekten av overflateruheten og av hoppende snøpartikler. Konstanten B_P er satt til 8,5.

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

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

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

Motstanden fra trær eller steinblokker i banen beregnes som

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

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

Snøskya behandles som en to-fasers blanding av luft og ispartikler. SAMOS-AT beregner bevegelsen av luften og av partiklene separat. For luften løses massebevaring

og Navier–Stokes-ligningen for middelverdiene av tetthet og hastighet, med et stort bidrag fra turbulensen til den effektive viskositeten, η_{eff}:

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

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

(For enkelhets skyld brukes det tensornotasjon med implisitt summering over like indekser). Turbulens er simulert gjennom *k*-*ε*-modellen med to ligninger for den turbulente kinetiske energien, *K*, og dissipasjonen, *ε*; for detaljer om denne turbulens-modellen se f.eks. Rodi (1984). Sammen med den molekylære viskositeten av luft, $\eta_a \sim 2\times10^{-5}$ kg/(m s), og konstanten $C_\mu = 0{,}09$ resulterer

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

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

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

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

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

Skjærspenningen $\boldsymbol{\sigma}^\text{s}$ og suspenderingsraten j^s/ρ_p brukes som randbetingelser.
For snøpartiklene i snøskya løses bevegelsesligningene for punktmasser, men hvert simulert massepunkt tilsvarer et ensemble av partikler med en samlet masse på typisk 100 kg eller omtrent 10^9 snøpartikler:

$$m_p \frac{\mathrm{d}\mathbf{v}}{\mathrm{d}t} = \mathbf{F}_p + m_p \mathbf{g}\,.$$

Motstandskraften på en partikkel beregnes fra

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

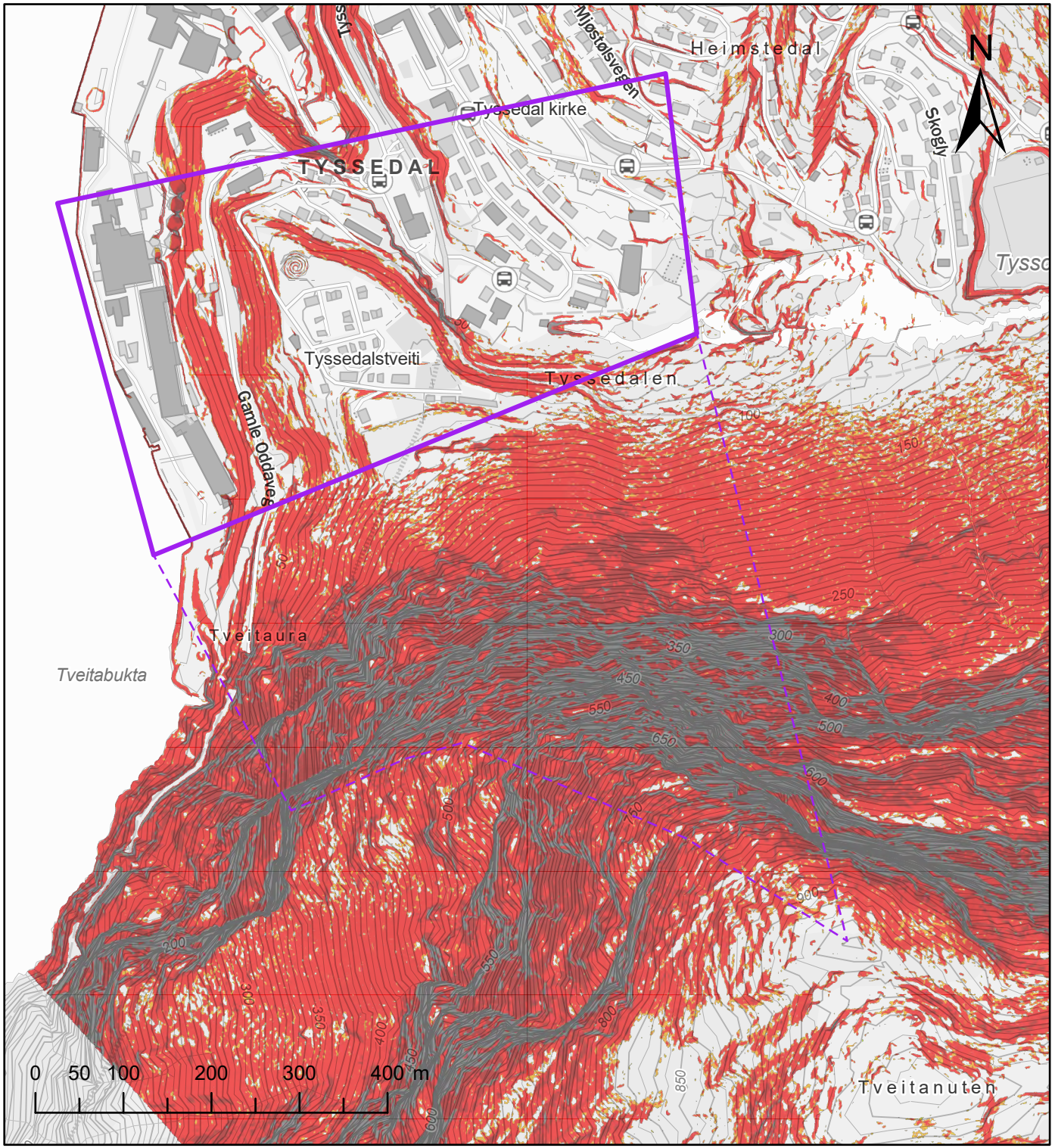
Relativhastigheten mellom luft og partikkel fluktuerer pga. turbulens. Ved å dele opp $\mathbf{u}$ i middelverdi og fluktuasjon, $\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$, finner man $(\Delta\mathbf{v})^2 = (\bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}' - \mathbf{v})^2 = (\bar{\mathbf{u}} - \mathbf{v})^2 + \mathbf{u}'^2 = (\bar{\mathbf{u}} - \mathbf{v})^2 + 2K/3$. SAMOS-AT implementerer i tillegg en innviklet metode med tilfeldig valg av en fluktuasjons- eller virvelhastighet og –retning som partiklene følger over en (relativt kort) tid[12].

Den numeriske implementeringen av SAMOS-AT omfatter følgende elementer:

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

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

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





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område

Bratte områder

- 0° - 27°
- 27° - 30°
- 30° - 45°
- 45° - 60°
- 60° - 90°

Reviderte faresoner fra Tveitanuten

Vedlegg B: Helningskart

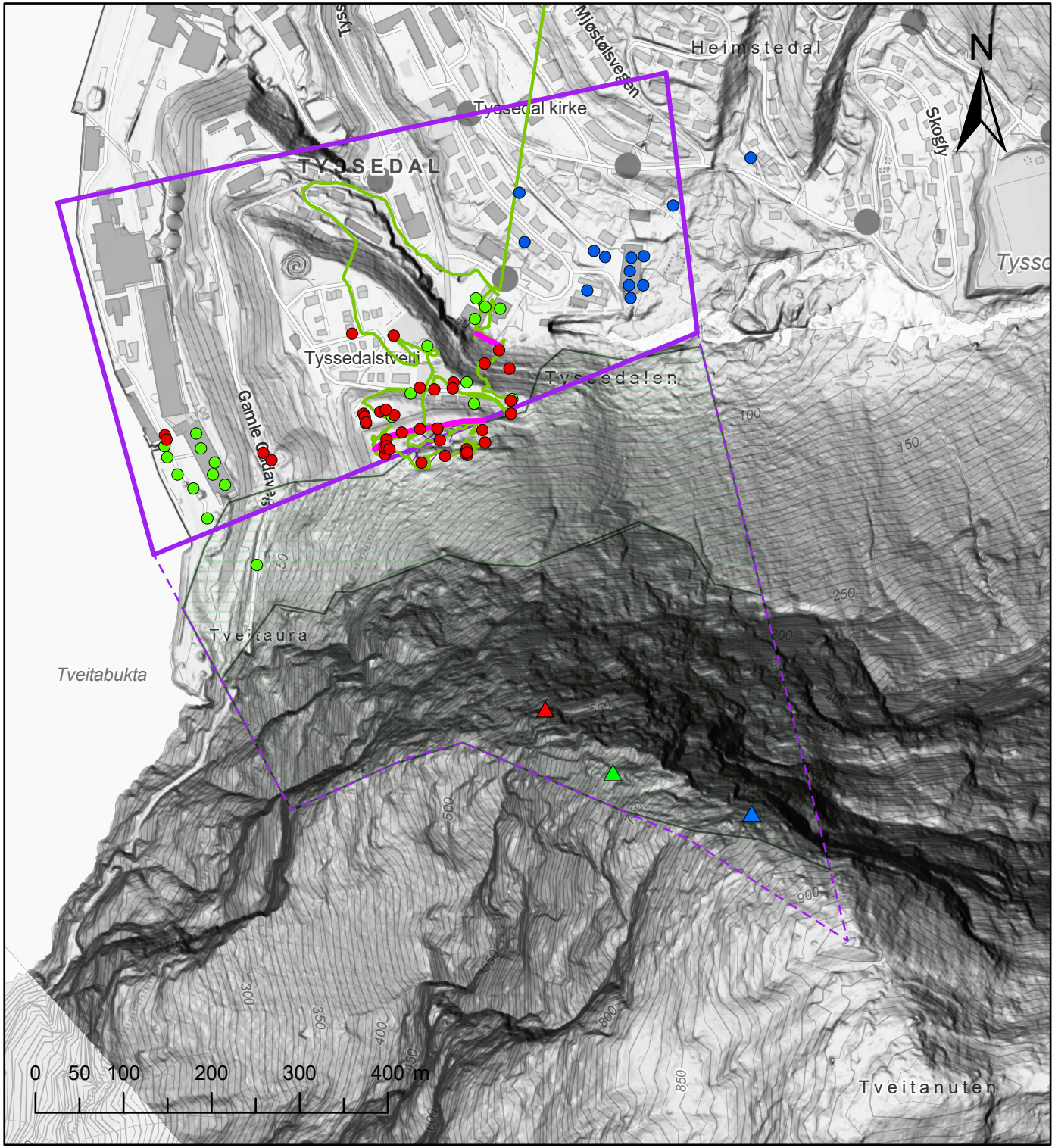
Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2024-01-23	HHH	FS	HHH

Original format og målestokk	Kartprojeksjon
A4 1:6 500	ETRS 1989 UTM Zone 33N

Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20230370	20230370-01-R	B	0

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

P:\2023\03\20230370\Calculations\20230370_Tyssedal_HHH_02.aprx





Tegnforklaring

- Påvirkningsområde
- Kartlagt område
- Rygg
- Sporlogg bakke sept 23
- Løsneområde 2023
- Registrerte skredblokker 2023
- Løsneområde 2012
- Registrerte flogstein 2012
- Løsneområde 1975
- Registrerte flogstein 1975
- Sikringstiltak

Skredavsetninger

Avsetningstype

- Steinsprang/steinskredavsetning (ur)

Potensielle løsneområder

Skredtype

- Løsneområder steinsprang/steinskred

Reviderte faresoner fra Tveitanuten

Vedlegg C: Registreringskart
Oversikt

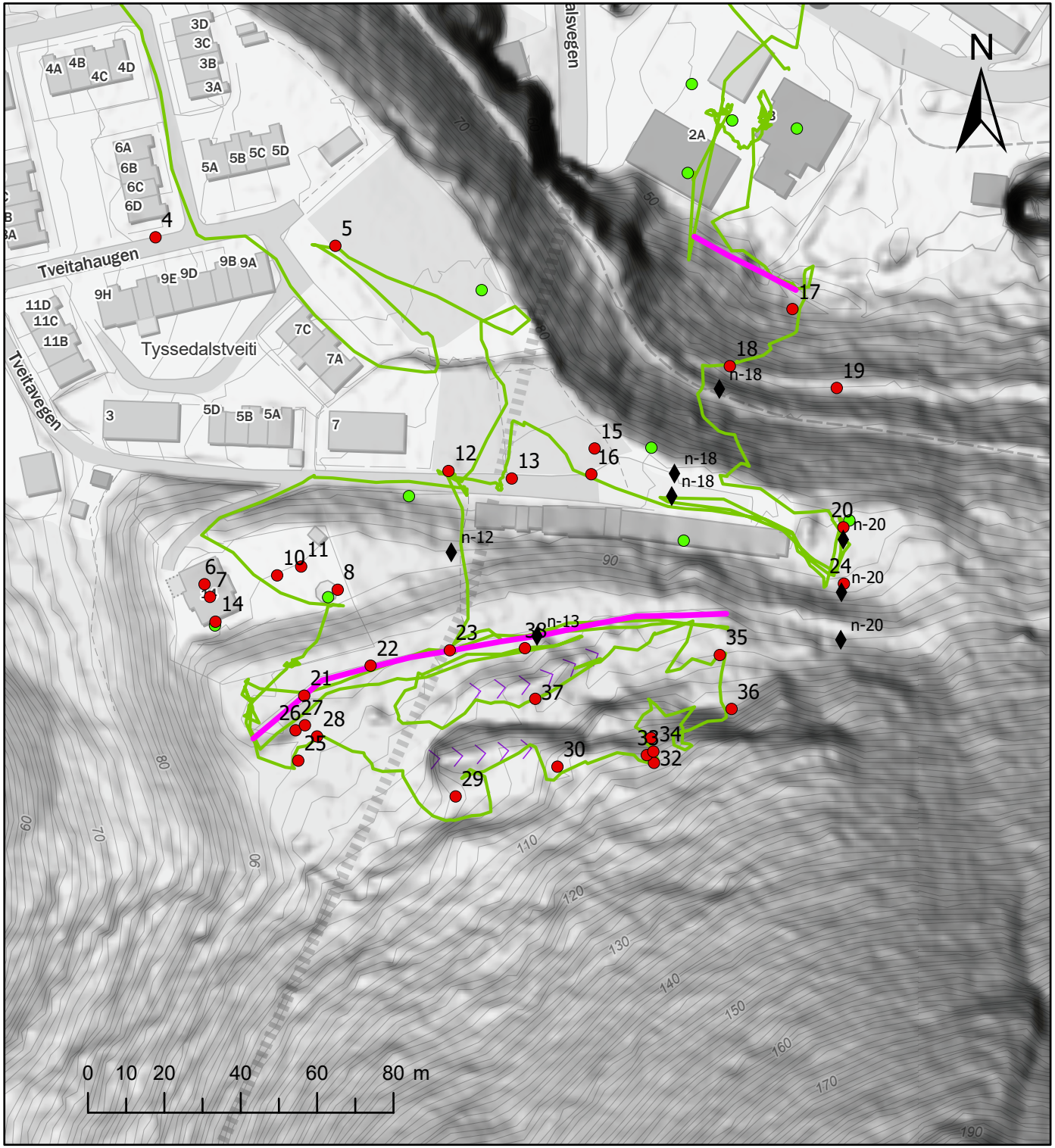
Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2024-01-23	HHH	FS	HHH

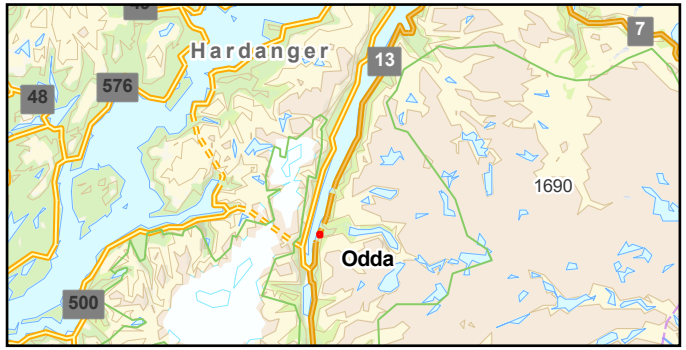
Original format og målestokk	Kartprojeksjon
A4 1:6 500	ETRS 1989 UTM Zone 33N

Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20230370	20230370-01-R	C1	0

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

P:\2023\03\20230370\Calculations\20230370_Tyssedal_HHH_02.aprx





Tegnforklaring

- Sporlogg bakke sept 23
- Sikringstiltak
- Rygg
- Treffpunkt skredblokker
- Registrerte skredblokker 2023
- Registrerte flogstein 2012

Reviderte faresoner fra Tveitanuten

Vedlegg C: Registreringskart
Detalj

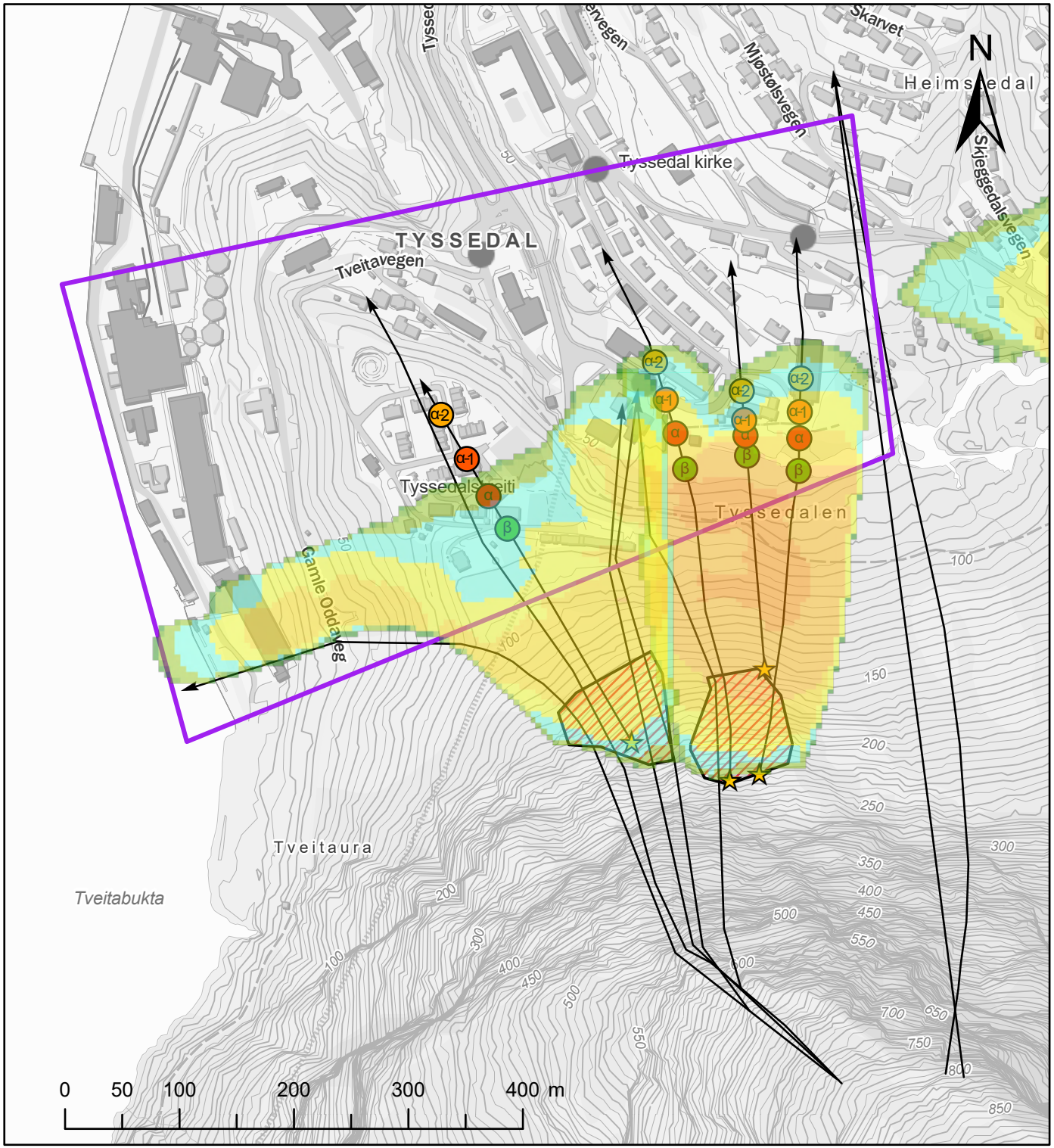
Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2024-01-23	HHH	FS	HHH

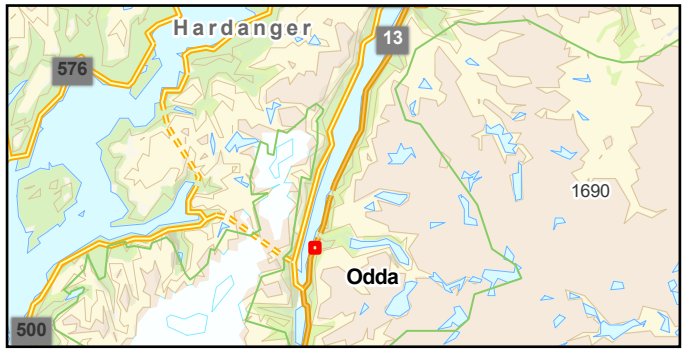
Original format og målestokk	Kartprojeksjon
A4 1:1 500	ETRS 1989 UTM Zone 33N

Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20230370	20230370-01-R	C2	0

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

P:\2023\03\20230370\Calculations\20230370_Tyssedal_HHH_02.aprx





Tegnforklaring

- Kartlagt område
- Løsneområde

Snøskred Hastighet (m/s)

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

Alfa-Beta

- Utløsningspunkt
- Beta
- Alfa +1
- Alfa
- Alfa -1
- Alfa -2
- Alfa -3
- Alfa -4
- Alfa -5
- Skredprofil

Reviderte faresoner fra Tveitanuten

Vedlegg D: Modellkart snøskred
Samos AT

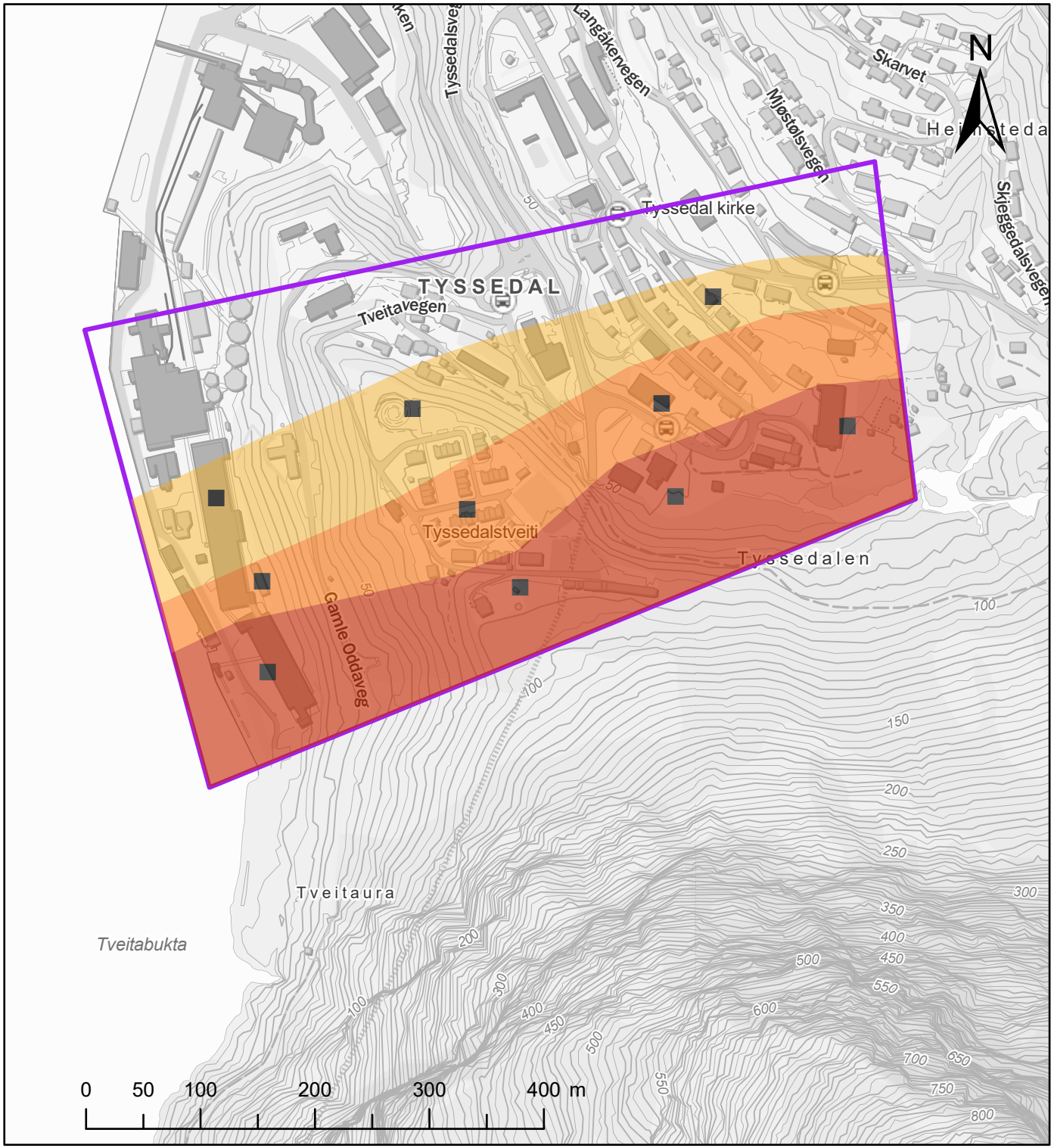
Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2024-01-30	HHH	FS	HHH

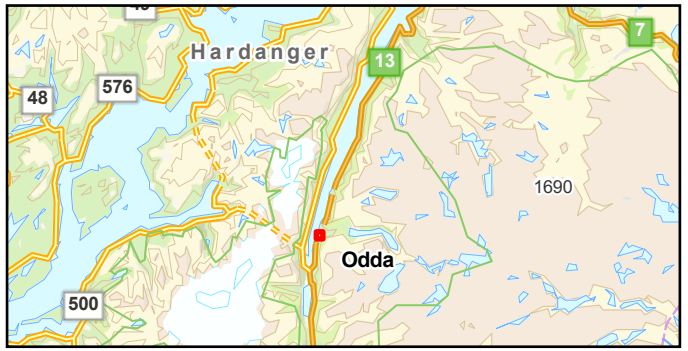
Original format og målestokk	Kartprojeksjon
A4 1:5 000	ETRS 1989 UTM Zone 33N

Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20230370	20230370-01-R	D	0

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

P:\2023\03\20230370\Calculations\20230370_Tyssedal_HHH_02.aprx





Tegnforklaring

Kartlagt område

Dimensjonerende faretype

Steinsprang

Faresone - 1/100

Nominell årlig sannsynlighet

>= 1/100

Faresone - 1/1000

Nominell årlig sannsynlighet

>= 1/1000

Faresone - 1/5000

Nominell årlig sannsynlighet

>= 1/5000

Reviderte faresoner fra Tveitanuten

Vedlegg E: Faresonekart
Samlede faresoner for skred i bratt terreg

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2024-01-23	HHH	FS	HHH

Original format og målestokk	Kartprojeksjon
A4 1:5 000	ETRS 1989 UTM Zone 33N

Prosjektnr.	Dokumentnr.	Kartnr.	Rev.
20230370	20230370-01-R	E	0

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

P:\2023\03\20230370\Calculations\20230370_Tyssedal_HHH_02.aprx

Norges vassdrags- og energidirektorat

NVE

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

Firma:	**Norges Geotekniske Institutt**	**Org.nr**	**958254318MVA** (Søk i https://brreg.no)

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

Norges vassdrags- og energidirektorat

NVE

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

[1] Byggteknisk forskrift (TEK17) og Plan- og bygningsloven (pbl)
[2] NVE veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak
[3] NVE retninslinjer Flaum- og skredfare i arealplanar – Revidert 22.mai 2014

Norges vassdrags- og energidirektorat

NVE

Signatur: **Sted og dato:**



HEIDI HEFRE **Oslo, 2023-11-30**

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Reviderte faresoner for skred i bratt terreng		**Dokumentnr./*Document no.*** 20230370-01-R
Dokumenttype/*Type of document* Rapport / Report	**Oppdragsgiver/*Client*** Ullensvang kommune	**Dato/*Date*** 2024-05-14
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ *Proprietary rights to the document according to contract* NGI		**Rev.nr.&dato/*Rev.no.&date*** 0 /
Distribusjon/*Distribution* BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/*Keywords* Flogstein, steinsprut, steinsprang, skredfare		

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

Dokumentkontroll/*Document control*

Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to NS-EN ISO9001*

Rev/ Rev.	***Revisjonsgrunnlag/Reason for revision***	**Egenkontroll av/ *Self review by:***	**Sidemanns-kontroll av/ *Colleague review by:***	**Uavhengig kontroll av/ Independent review by:**	**Tverrfaglig kontroll av/ *Inter-disciplinary review by:***
0	Originaldokument	2024-05-13 Heidi Hefre	2024-05-13 Frode Sandersen		

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Prosjektleder/*Project Manager***
	14. mai 2024	Heidi Hefre

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

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

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

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

www.ngi.no

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

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

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

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

www.ngi.no

OSLO
TRONDHEIM
HOUSTON
PERTH

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Hovedkontor Oslo
PB. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd. Trondheim
PB. 5687 Torgarden
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
NGI@ngi.no

BANK
KONTO 1506 91 98764
ORG.NR 932 089 114 MVA

ISO 9001/14001
CERTIFIED BY BSI
FS 32989/EMS 612006