

- NGU (2015a) Presentasjonsregler for løsmassedata, Norges geologiske undersøkelse (NGU), 2015-03-15.
- NVE (2020) Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. [12.11.2020]. Veileder - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak (nve.no). Hentet 07.11.2022.
- NVE (2021a) Bruk av RAMMS::DEBRISFLOW på kjente sørpeskredhendelser. NVE Ekstern rapport nr. 9/2021.
- NVE (2021b) FOU 80606 – Identifisering av løsneområder for sørpeskred. NVE Ekstern rapport nr. 8/2021.
- Reineke, L.H. (1933) Perfecting a stand-density index for even-age forests. Journal of Agricultural Research. 46: 627 – 638.
- Saloranta T. (2014) New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. NVE Report 06/2014.
- Schwitzer, R., Frehner, M., Wasser, B. (2014) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2014.
- Sovilla, B., McEwaine, J.M., Louge, M.Y. (2015) The structure of powder avalanches. Comptes Rendus Physique, Volume 16, Issue 1, P. 97-104. SWAG (2016) American Avalanche Association. Snow, Weather and Avalanches: Observation Guidelines for Avalanche Programs in the United States (3rd ed). Victor, ID, 2016.

Vedlegg A

METODE FOR FASTSETTING AV FARESONER

Innhold

A1	Innledning	2
A2	Kort beskrivelse av aktuelle skredtyper	2
A2.1	Steinskred og steinsprang	2
A2.2	Flomskred	2
A2.3	Snøskred	2
A2.4	Jordskred	3
A2.5	Sørpeskred	3
A3	Tolking av spor i terrenget	3
A4	Vegetasjon og terreng	4
A4.1	Terreng	4
A4.2	Skog	6

A1 Innledning

Tre faresoner er vurdert i dette oppdraget:

- 7 Faresone for utbredelse av skred med årlig sannsynlighet 1/100
- 7 Faresone for utbredelse av skred med årlig sannsynlighet 1/1000
- 7 Faresone for utbredelse av skred med årlig sannsynlighet 1/5000

Faregrensene representerer den samlede sannsynlighet for alle de vurderte skredtypene. I hovedsak vil det være en skredtype som er dominerende og bestemmende for skredutløpet. Hvilken skredtype som er dimensjonerende er markert i kartet med eget symbol (se tegnforklaring i faresonekart). Unntaksvis vil flere skredtyper ha omtrent samme utbredelse, og i slike tilfeller må den samlede sannsynlighet for de relevante skredtyper summeres og legges til grunn for fastsettelsen av faregrensen.

A2 Kort beskrivelse av aktuelle skredtyper

A2.1 Steinskred og steinsprang

Steinskred og steinsprang forekommer vanligvis i bratte oppsprukne fjellpartier der terrenghelningen er større enn 45°. Steinsprangene utløses fra steile sprekker og overheng som har utviklet seg over lang tid grunnet forvitring. Det vanligste er mindre utfall på noen fåtalls kubikkmeter, men større steinskred kan også tidvis forekomme. Steinsprang forekommer helst om våren og høsten, ofte som følge av frysing/tining eller pga. store nedbørmengder som fører til høyt vanntrykk i sprekke i fjellet. Rotsprengning kan også løse ut steinsprang. Også frittliggende blokker kan bli satt i bevegelse av prosessene nevnt over.

A2.2 Flomskred

Denne skredtypen følger bekker og elver, og kan bli utløst i løp med helning helt ned mot 10° - 15°. Jord- og flomskred blir gjerne utløst etter langvarig nedbør, eller etter korte, men intense regnskyl. Sterk snøsmelting kan også føre til utløsning av slike skred, men da oftest i kombinasjon med regn.

A2.3 Snøskred

Snøskred utløses vanligvis der terrenget er mellom 30° - 55° bratt. Der det er brattere, glir snøen ut i små porsjoner uten at det dannes større snøskred. Fjellsider som ligger i le for de vanligste nedbørførende vindretninger er mest utsatt for snøskred. Likeledes går det oftest skred i skar, bekkedaler og andre forsenkninger fordi det samles opp mest snø på slike steder. Fjellrygger og fremstikkende knauser blåses som regel frie for snø. Hvis skogen står tett i fjellsiden vil dette hindre utløsning av snøskred. Forutsetningen er at trærne er så høye at de ikke snør ned. Som regel må det komme fra 0,5 - 1 m snø i løpet av to til tre døgn sammen med sterk vind for at store snøskred skal bli utløst. Markante temperaturstigninger kan også føre til at det går snøskred.

Det kan oppstå våte snøskred, som generelt har kortere rekkevidde enn tørre snøskred. Strømningsforholdene i våte snøskred skiller seg fra tørre snøskred og kan sammenlignes med sørpe- eller flomskred. I etterkant er det ofte ikke mulig å gjøre et klart skille, siden snøsmelting i bratt terreng kan være årsaken til alle disse prosessene og det er også mulig for våte snøskred å «transformeres» til vannmettede snøskred til sørpe- eller flomskred ved stor vanntilgang.

Observasjoner tyder på at våtsnøskred også kan utløses i bratte skoger hyppigere enn tørre snøskred.

A2.4 Jordskred

Jordskred utløses helst i bratte fjellsider der det ligger løsmasser og der terrenget er brattere enn 25° - 30°. Løsmasser med høyt innhold av finere partikler, som for eksempel leire, kan bli utløst i enda slakere terreng. Oftest er nedbør årsaken til at jordskred utløses. Steinsprang kan også utløse jordskred dersom steinblokker treffer vannmettede løsmasser i bratt terreng, og setter disse i bevegelse.

A2.5 Sørpeskred

Sørpeskred er en spesiell type snøskred der snøen inneholder så mye vann at den blir flytende. Skredene følger helst bekke- og elvedrag som myrområder, vann eller slake forsenkninger. Sørpeskred kan løsne i slake partier (helt ned mot 5°) hvor vann bygger seg opp i snødekket eller nedenfor utløp av snødemte vann og myrer når vann bryter seg gjennom snøen og drar med seg snø videre i løpet. Sørpeskredene kan forekomme i ulike terrengetyper og kan være vanskelig å forutsi. De utløses helst når snøen er løs og lett, i nysnø eller i grovkornet løs snø som ligger på frossen grunn eller sva (impermeabel grunn), som følge av kraftig regn eller snøsmelting. Sørpeskred kan nå langt selv i slakt terreng. Sørpeskred kan forekomme i de samme bekke- og elvedragene som flomskred, og det kan i noen tilfeller være vanskelig å skille mellom disse to vannbårne skredtypene. I noen tilfeller kan det også være krevende å skille mellom våtsnøskred og sørpeskred, ettersom vanninnhold kan endre seg langs skredbanen i begge tilfeller.

Likedan som overgangen mellom jordskred og flomskred er glidende, så er overgangen fra snøskred til sørpeskred glidende og avhenger av mengde vann. Dessuten har en rekke flomskred sitt opphav som sørpeskred. Derfor bør klassifiseringene ovenfor kun ses på som en grov klassifisering.

A3 Tolking av spor i terrenget

Tidligere skredhendelser vil i noen grad kunne observeres ute i terrenget. For eksempel vil spor etter snøskred kunne vises i form av skader på vegetasjonen. Skredblokker vil i de fleste tilfeller bli liggende som vitnesbyrd på tidligere steinspranghendelser, men dersom det er innmark kan steinblokker ha blitt fjernet. Ofte vil det være et problem å skille skredblokker fra moreneblokker som har blitt transportert med isen.

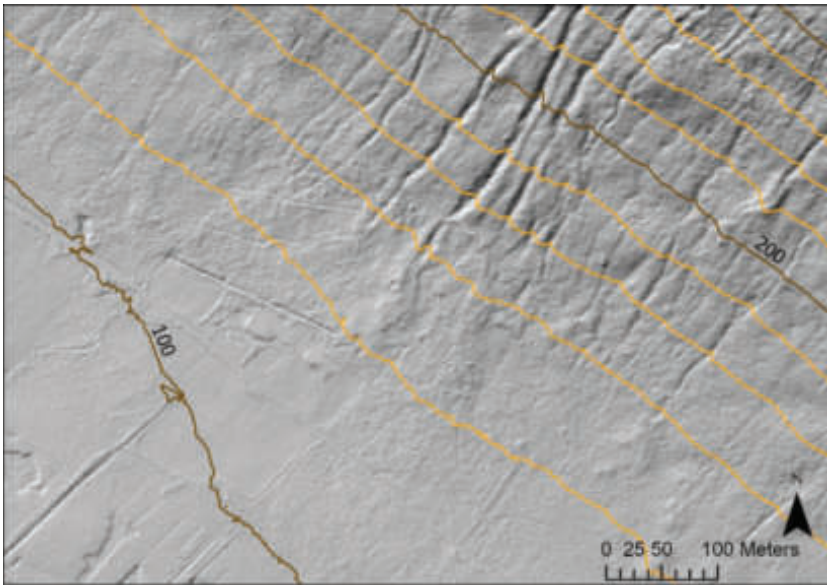
Skred som er masseførende slik som jord- og flomskred vil som oftest gi varige spor i terrenget. Det kan enten være erosjonsformer slik som nedskjæringer (raviner) eller avsetningsformer (som regel vifteformet eller levéer). Utfordringen er å vite hvor gamle disse skredene er, og i hvilken grad de er representative for dagens forhold. I tiden like etter siste istid gikk det et stort antall skred under helt andre vegetasjonsforhold med stor vanntilgang grunnet ismelting.

A4 Vegetasjon og terreng

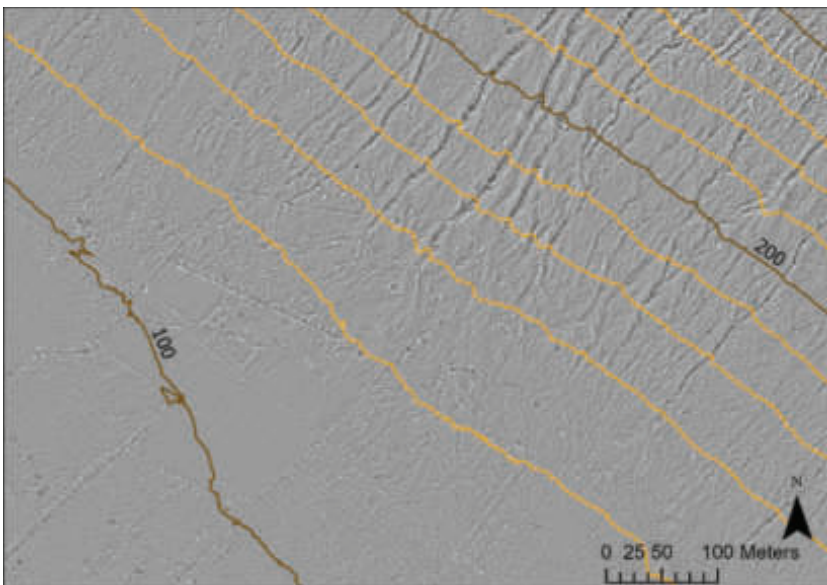
Vurderingen av området tar utgangspunkt i dagens terreng- og vegetasjonsforhold. Dersom vegetasjons- eller terrengforhold endrer seg vesentlig, må området vurderes på nytt. Også byggeaktivitet ved utbygging kan endre faren spesielt for flom- og sørpeskred dersom dreneringsveier blir endret.

A4.1 Terreng

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



Figur 4.1 Skyggekart fra DTM med 1 m oppløsning.



Figur 4.2 Krumningskart fra DTM med 1 m oppløsning.

Figur 4.1 viser et eksempel på et skyggekart og Figur 4.2 et eksempel på et krumningskart. Ved første øyekast viser begge figurene lignende mønstre. Imidlertid reflekterer krumningskartet endringen i overflaten og viser derfor overflateruheten mye tydeligere. Erosjon og avleiring av grønne former kan dermed også sees tydeligere. Begge representasjonsformer kan utfylle hverandre.

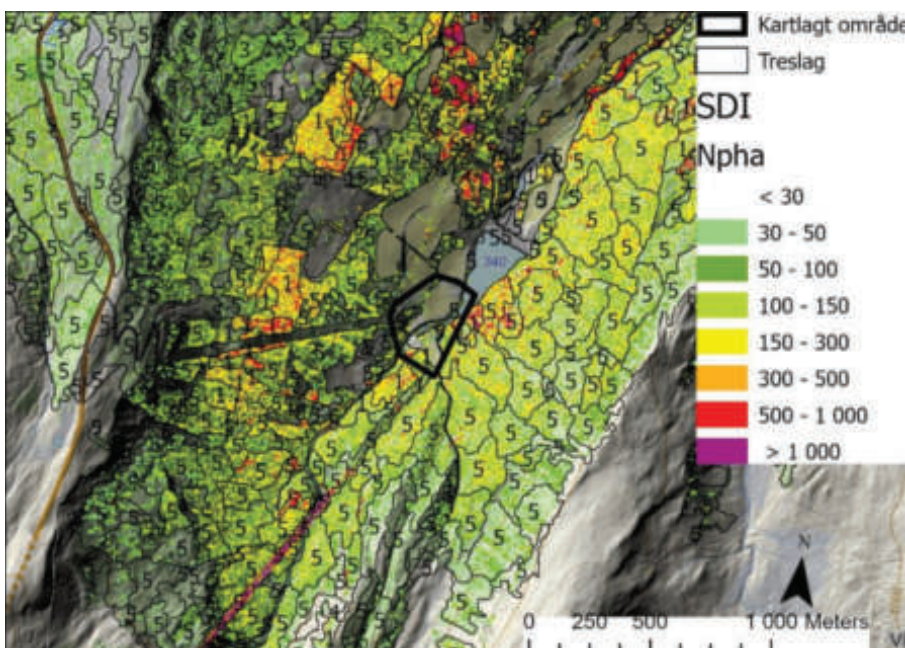
A4.2 Skog

Definisjon:

"Skog er et landområde dominert av trær som er minst 3 m høye og står mindre enn 30 m fra hverandre (Norsk definisjon av skog)."¹

"Areal med minst 6 trær per dekar som er eller kan bli 5 meter høye, og disse bør være jevnt fordelt på arealet."²

Høyoppløselige digitale terrengmodeller (DTM) og digitale overflatemodeller (DOM) kan brukes for å identifisere skog og kvantifisere skogforhold. Figur 4.3 viser et eksempel på beregnet skogtetthetsindeks (SDI, Stand Density Index) (Reinekes, 1933).³ Til dette formålet ble DTM og DOM brukt som inndata og ved hjelp av verktøyet FINT (Dorren et al., 2017)⁴ ble det forsøkt å identifisere individuelle trær og deretter ble SDI beregnet. Forklaringer av SDI er gitt nedenfor. Figur 4.4 viser et bilde av tilsvarende fjellside. De tettere og mindre tette skogstomtene kan tydelig sees.



Figur 4.3 SDI (dimensjon antall trær per hektar). Data beregnet fra DTM og DOM med 1 m oppløsning og ved hjelp av verktøyet FINT (Dorren et al., 2017). Tall i henhold til treslaget SATSKOG16: 1=grandominert, 2=furudominert, 3=barblanding, 4=blanding, 5=lauvdominert, 6=ikke tresatt og 7=ikke beregnet.

¹ Store Norske Leksion

² Bjørndal, I. & Bjørkelo, K. (2006) AR5 Klassifikasjonssystem, Skog og Landskap, Skog og Landskap, 2006

³ Reineke, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forest Journal of Agricultural Research, 1933, 46, 627-638

⁴ Dorren, L.; Zuanon, N.; Ginzler, C. & Monnet, J.-M. FINT – Find Individual Trees: ecorisQ – International association for natural hazard risk management, ecorisQ – International association for natural hazard risk management, 2017



Figur 4.4 Bilde over området vist i Figur 4.3. En ser nylig hogd skog.

Generelt kan man anta at skog har en positiv effekt for å redusere frekvens og utbredelse/utløpslengde av skred i bratt terreng, men eksakt virkning er vanskelig å kvantifisere. Kravspesifikasjon til skogbestanden er forskjellig for de ulike faretypene, men generelt kan en si at det er ønskelig med en kontinuerlig høy grad av skogdekke.⁵ Treslaget har imidlertid også stor betydning. Intersepsjon av gran er høy på grunn av deres høye bladarealindeks (*Leaf area index, LAI*), noe som er gunstig for eksempel for beskyttelse mot snøskred. Samtidig er deres beskyttende effekt som grunnrotede planter lavere mot jordskred. Kravet om tilstrekkelig og sammenhengende skogdekke gjør at store jevnaldrende beplantede arealer kun i begrenset grad bidrar til å sikre mot naturfarer. For eksempel er avstanden mellom eldre gran med lik alder så stor at snøskred kan strømme gjennom relativt uhindret. Selv om dette sjelden skjer, er ikke faren på lang sikt ubetydelig.

Skog vil ha større effekt i utløsningsområder enn i utløpsområder. Men en kan ikke utelukke at snøskred kan løsne i skog dersom terrenget er brattere enn $30^\circ - 35^\circ$. Dersom skred løsner *ovenfor* skoggrensen, men kommer ned i skog på sin vei er effekten av skogen mindre. Riktignok vil utløpslengde bli redusert, men skred kan også ødelegge store deler av skogen, avhengig av skredstørrelse.

Figur 4.5 viser bilder fra et snøskred i januar 2015 som ødela mer enn 10 hektar bjørkeskog av alder mellom 40 og 80 år med anslagsvis et volum på mellom 30 og 70 m^3 pr. hektar.

Figur 4.6 til Figur 4.10 viser eksempler der skog ikke var tilstrekkelig for å hindre utløsning/utbredelse av skred.

⁵ Schwitter, R.; Frehner, M. & Wasser, B. (2014) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 2014



Figur 4.5 Snøskred i januar 2015 som ødela mer enn 10 hektar bjørkeskog i nærhet av Fåberg, Jostedalen.



Figur 4.6 Et tørt snøskred har strømmet gjennom skogen. Snøavsetningene på trærne er tydelige. Det gir en indikasjon på flytkehøyden til skredet (bilde: Gallatin National Forest Avalanche Center, 2009).



Figur 4.7 Våtsnøskred i skogområde (bilde: Gallatin National Forest Avalanche Center/J. Watson, 2018).



Figur 4.8 Snøskred i skog. Vegetasjonsforhold på øvre del av skredbanen (bilde fra ⁶).

⁶ Abe, O.; Nakamura, K.; Sato, K. & Kosugi, K. (2016) Observation of Frequent Avalanches in Sekiyama Pass along Route and Assessment of Snowpack Stability on the Valley Slopes. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2016, 39-46



Figur 4.9 Utløpsområde til flomskred i skog.

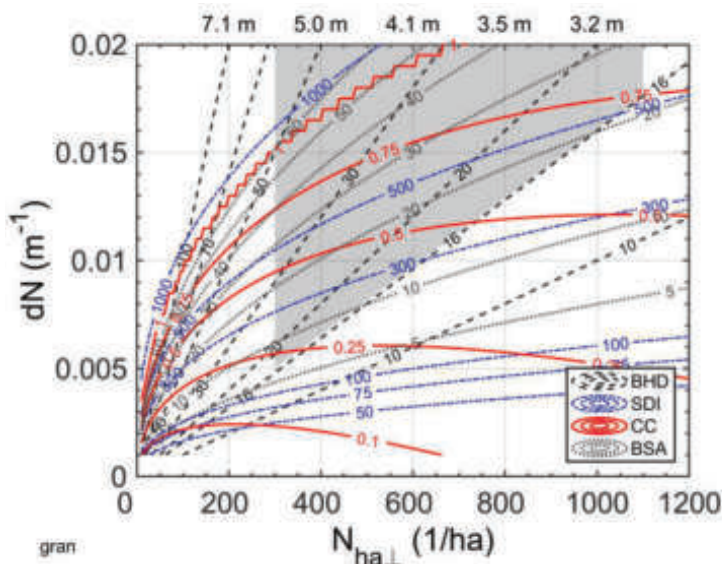


Figur 4.10 Jordskredbane gjennom skogsområde.

Først og fremst er effekten av skog bestemt av skogtettheten. En indikator er Reinekes (1933) skogtetthetsindeks (stand density index, SDI, med dimensjon antall trær per hektar). Den er basert på forholdet mellom antall trær per hektar og gjennomsnittlig diameter. SDI gir indeksen til den karakteristiske fordelingen av trærs størrelser i jevnaldrende skog. Skogtetthetsindeksen er vanligvis godt korrelert med skogens volum og vekst. Indeksen gir en indikasjon på tettheten av trær og dermed en indikasjon på kronedekning. Karakteristiske verdier er avhengig av treslag. For en tett granskog er SDI rundt 1000/ha og for en skog med rundt 50% kronedekning er SDI mellom 300/ha og

500/ha. For lauvskog om vinteren er kronedekning og sammenlignbar SDI generelt betydelig mindre og verneeffekten mot snøskred er begrenset også i utløsningsområdet. Figur 4.11 viser en noe typisk sammenheng mellom antall trær per hektar, dN, BHD, BSA, SDI, og kronedekning for gran. BSA er grunnflate av trestammer med enhet m² ha⁻¹. Lignende figurer finnes for furutrær og, tatt i betraktning mindre bladdekke om vinteren, for løvtrær.

Generelt kan en si at selv høyt skogdekke ikke kan forhindre alle snø-, jord- eller flomskred, men uten skog ville de ofte vært større. Skoghogstflater i bratt terreng kan bli mulige utløsningsområder for skred. Måltrettet bevaring av skog er derfor forutsetningen for en langsiktig beskyttende effekt av skogen.



Figur 4.11 Typisk sammenheng mellom antall trær per hektar, dN, BHD, BSA, SDI, og kronedekning (CC) for gran. Det grå skraverte området viser minimumskravene ifølge Meyer-Grass og Schneebeil⁷ for verneeffekter mot snøskred.

I skredbanen og utløpsområdet bidrar bremseeffekten av skog til å forkorte utløpslengden av skred. Ifølge Newtons tredje lov "actio = respons", er motstanden per m² skogareal, så lenge den står, gitt som:

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

hvor:

- F_{as} motstandskraft per m² [N m⁻²]
- d trær diameter [m]
- Dist distanse mellom trær [m] ($D_{ist} = \sqrt{10^4 \text{ m}^2 / N}$; N er antall trær per hektar)
- H høyde av trær [m]
- h_f flyttehøyde av skred [m]

⁷ Meyer-Grass, M. & Schneebeil, M. (1992) Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen. Internationales Symposium Interpraevent 1992-Bern, 1992

C_D	motstandskoeffisient
Fr	Froude tall
ρ_f	skredtetthet [kg m^{-3}]
u_f	skredhastighet [m s^{-1}]

Fra ligning (A4.1) ses betydningen av karakteristikkverdien dN i Figur 4.11 ⁸.

Også for steinsprang er det slik at jo tettere skogen er, jo større blir energitapet, noe som bidrar til en reduksjon i sannsynlig rekkevidde. Liggende trær kan også ha stor betydning for rekkevidde til steinsprang.

⁸ Ytterligere merknader kan også finnes i Issler, D.; Gauer, P.; Glimsdal, S.; Jaedicke, C.; Sandersen, F. & Gislås, K. G. SP4 FoU Snøskred-ANNUAL REPORT 2019 Norwegian Geotechnical Institute, Norwegian Geotechnical Institute, 2020