



RAPPORT

Nye aktsomhetskart for snøskred i Norge

NAKSIN 4 – DOKUMENTASJON

DOK.NR. 20150457-02-R
REV.NR. 0 / 2023-11-10

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

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.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

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: Nye aktsomhetskart for snøskred i Norge
Dokumenttittel: NAKSIN 4 - dokumentasjon
Dokumentnr.: 20150457-02-R
Dato: 2023-05-15
Rev.nr. / Rev.dato: 0 / 2023-11-10

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NVE
Kontaktperson: Odd Are Jensen
Kontraktreferanse: Endringsordre EOF 2022-1 signert 2022-09-23

for NGI

Prosjektleder: Sylfest Glimsdal
Utarbeidet av: Kjersti Gisnås, Dieter Issler, Ulrik Domaas,
Kjetil Sverdrup-Thygeson
Kontrollert av: Sylfest Glimsdal

Sammendrag

NGI har på oppdrag av NVE utviklet en metodikk for å beregne **Nye AktsomhetsKart** for **Snøskred I Norge** (NAKSIN). Bakgrunnen var at eksisterende aktsomhetskart fra 2010 var for konservative i mange områder da de ikke tar hensyn til skog og klima, mens de på den andre siden ikke fanger opp særlig lange utløp i høyfjellet og i områder med kontinentalt klima og lave friksjonsverdier.

NAKSIN-modellen er et Python-rammeverk som tar hensyn til skog i både utløsningsområder og utløpsberegning, klima i beregning av utløsningssannsynlighet, for deretter å kjøre en dynamisk modell med klima- og terengavhengige friksjonsparametere for hvert enkelt skredløp. Summen av alle skredutløp gir til sammen et nytt aktsomhetskart for Norge.

NAKSIN er kjørt både med og uten skogseffekt for hele Norges fastland. Resultatet er vektorbaserte utløsningsområder og aktsomhetskart, hvor en rekke attributter er tilgjengelige for hvert enkelt utløsningsområde. Aktsomhetskart produsert med NAKSIN med skogseffekt dekker et areal tilsvarende eksisterende aktsomhetskart fra 2010, mens antall bygg i sikkerhetsklasse S2 og S3 som ligger innenfor aktsomhetssonene er halvert.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Nytt aktsomhetskart for Norge	6
2	Rammeverk og generell metodikk	7
3	Inngangsdata	9
3.1	Initialisering av modellen	9
3.2	Kartleggingsområde	10
3.3	Terrengmodell	10
3.4	Skogsdata	10
3.5	Klimadata	12
3.6	Urbane områder	12
4	Potensielle utløsningsområder	12
4.1	Beregning av terrengparametere	12
4.2	Seleksjon av potensielle utløsningsområder	12
4.3	Geometrisk filtrering	13
4.4	Gruppering og oppdeling av store utløsningsområder	13
4.5	Tilegning av attributtliste til hvert utløsningsområde	14
5	Utløsnings sannsynlighet	14
5.1	Beregning av skjærstyrken som en funksjon av snøtetthet	15
5.2	Effekt av skog på snøstabilitet	17
5.3	Estimert sannsynlighet og bruddhøyde	18
6	Utløpsberegninger	19
6.1	MoT-Voellmy	19
6.2	Tilrettelegging av inngangsdata til MoT-Voellmy	20
6.3	Friksjonsparametere	21
6.4	Bremsende effekt av skog	22
7	Resultatfiler	23
7.1	Resultatfiler fra NAKSIN 4	23
7.2	Produksjon av landsdekkende aktsomhetskart	24
8	Validering	26
8.1	Skredskadepunkt – NGIs database	26
8.2	Registrerte skredhendelser (polygon) – NGIs database	40
9	Generelle resultater	45
9.1	Arealmessig utbredelse av gamle og nye aktsomhetssoner	45
9.2	Antall bygg innenfor gamle og nye aktsomhetssoner	46
10	Behov for utvikling	48
11	Referanser	50

Vedlegg

Vedlegg A	Oversikt valideringsområder
Vedlegg B	Initialiseringsfil for NAKSIN 4

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Landsdekkende aktsomhetskart for snøskred i Norge ble i 2010 produsert av NGU på oppdrag fra NVE (Derron & Sletten, 2016). Denne første versjonen av aktsomhetskart for snøskred var kun basert på topografi, og alle områder med helning mellom 30° og 60° ble definert som utløsningsområder, mens alfa-beta modellen ble benyttet for utløp. Benyttet terrengmodell hadde 25 m oppløsning og var i store deler basert på interpolasjon av grove konturlinjer. Begrenset dataanalysekapasitet gjorde at kartet derfor ble lite detaljert.

Dagens aktsomhetskart har vist seg å gi urealistisk stor skredutbredelse med båndlegging av unødvendig store arealer i mange tilfeller. Ofte skyldes dette at det står tett skog i fjellsiden eller at de klimatiske forholdene tilsier liten fare for utløsning av snøskred. Aktsomhetskartene benyttes som grunnlag for godkjenning av byggesaker og dette fører til betydelige merkostnader for utbyggere på grunn av at kommunene krever nødvendige skredfaglige vurderinger.

I andre områder går dagens aktsomhetskartet for kort. Dette gjelder særlig i høyereliggende eller kontinentale områder med lave vintertemperaturer. Her ser man tidvis lange utløp i slakt terreng som går vesentlig lengre enn benyttet alfa-beta sammenheng i eksisterende aktsomhetskart, noe som skyldes svært lave friksjonsverdier.

De viktigste svakhetene ved dagens aktsomhetskart oppsummert:

- Utløsningsområdene dekker for store arealer, først og fremst på grunn av skog, men også fordi kartene inkluderer terrengformer som ikke samler snø.
- Utløpsområdene er for store ved at sideveis utbredelse av skredene overdrives i betydelig grad.
- Erfaringen viser også at skogen har en bremsende effekt på skredmassene, og modellen brukt for utløpsberegninger tar ikke hensyn til dette. Dette gir i de fleste tilfeller altfor lange utløp.
- Aktsomhetskartene tar ikke hensyn til klimaforhold, og vi vet at snøforhold har vesentlig innvirkning på sannsynlighet for skredutløsning. For eksempel er sannsynligheten for utløsning av skred i kystnære lavlandsstrøk mye lavere enn i høyere fjellområder.
- I enkelte tilfeller har historiske skred gått vesentlig lengre enn aktsomhetskartet tilsier, særlig i områder med kontinentalt klima.

1.2 Nytt aktsomhetskart for Norge

Med bakgrunn i de identifiserte svakhetene startet NGI i 2015 et arbeid på oppdrag fra NVE for å kartlegge muligheter for å utvikle en forbedret metodikk for aktsomhetskartene for snøskred. Forslag til metodikk ble beskrevet i NGI (2016). Arbeidet har fortsatt etter dette mot en fungerende metodikk som 1) tar hensyn til skog og klima i både

utløsnings- og utløpsområdene, 2) benytter bedre terrengmodelldata, og 3) hvor utløp beregnes med en dynamisk modell. Samtidig må beregningstiden muliggjøre kjøring for hele Norge.

Modellen har fått navnet NAKSIN – Nye Aktsomhetskart for Snøskred i Norge og resultatene fra NAKSIN versjon 4 ble i 2022 vurdert av NVE å være gode nok for generering av nye aktsomhetskart for snøskred. Høsten 2022 ble derfor NAKSIN 4 kjørt for hele Norge både med og uten effekten av skog, og nye aktsomhetskart ble generert basert på modellkjøring med skogseffekt.

Denne rapporten beskriver modellen, inngangsdata og parametersetting benyttet for de nye aktsomhetskartene for snøskred i Norge.

Det er viktig å være klar over at det fremdeles er svakheter i metodikken (beskrevet i Kap.10) som krever videre utvikling og forhåpentligvis kan representeres bedre i fremtiden.

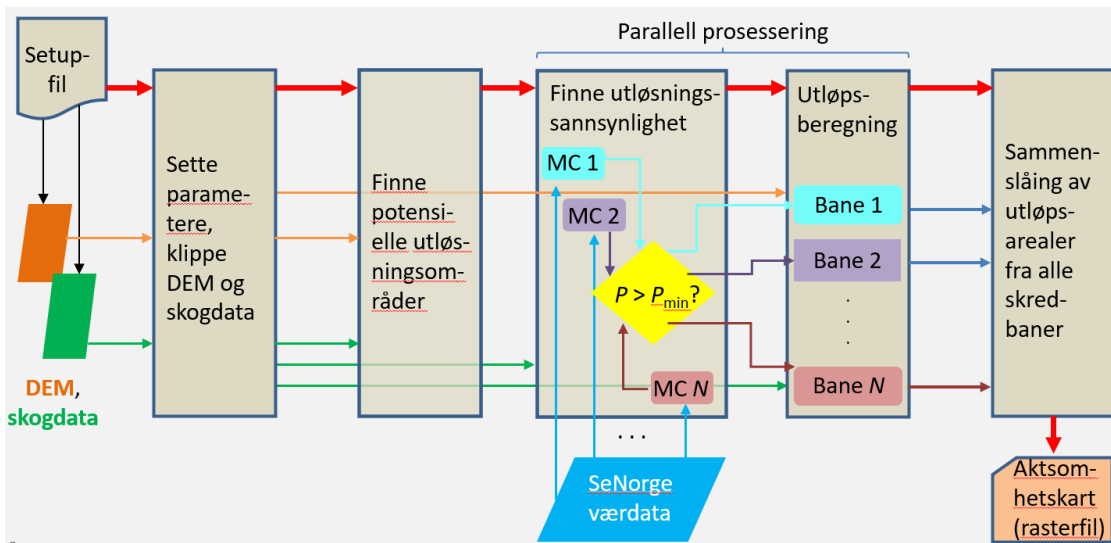
2 Rammeverk og generell metodikk

NAKSIN 4 er et rammeverk skrevet i Python 3.5. Det er brukerstyrt og kan i utgangspunktet kjøres for et hvert valgt område der nødvendig input data foreligger. NAKSIN 4 er kjørt enkeltvis for hvert kartblad i 1:50 000 Topografisk hovedkartserie (Geonorge, kartbladinddelinger WMS, 2022). Nødvendige inputdata per kartblad er forhåndsgenerert.

NAKSIN-modellen tar hensyn til skog i både utløsningsområder og utløpsberegning, klima i beregning av utløsningssannsynlighet og bruddhøyder, og kjører en dynamisk modell med klima- og terrengavhengige friksjonsparametere for hvert enkelt skredløp.

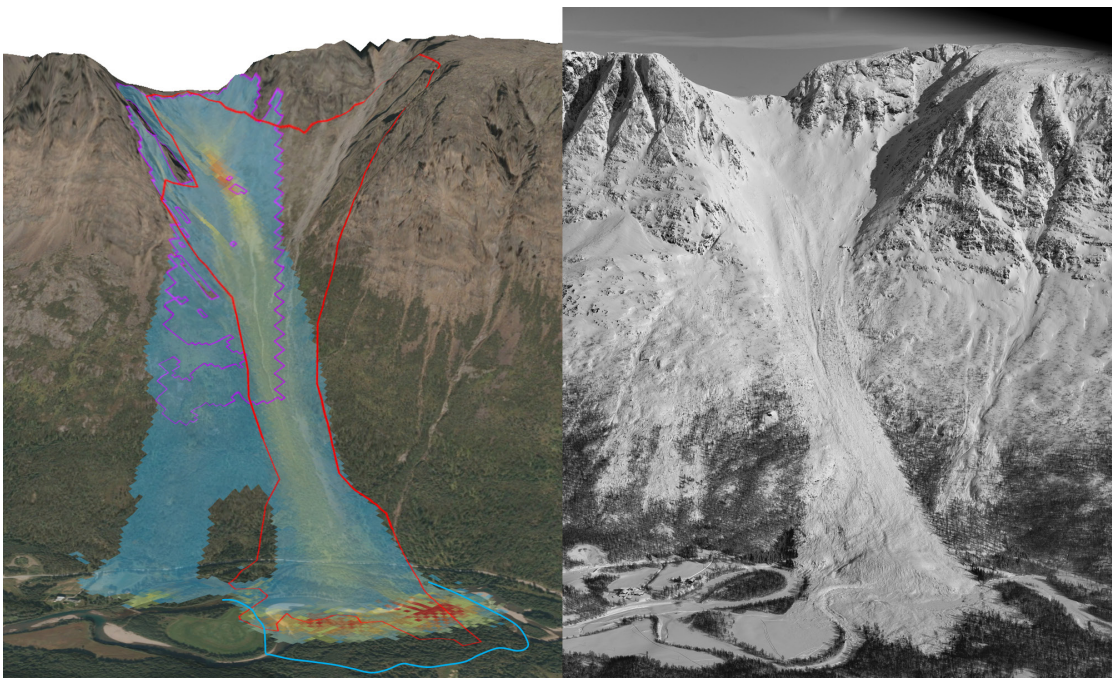
Gangen i rammeverket kortfattet (Figur 2-1):

1. Innlesing og tilrettelegging av data
2. Beregning av potensielle utløsningsområder (PRAs; potential release areas)
3. Beregning av utløsningssannsynlighet og bruddhøyder for alle PRAs
4. Dynamisk utløpsberegning for alle PRAs med sannsynlighet > 0.001
5. Resultatfiler:
 - a. Utløsningsområder, nummerert (ESRI ASCII Grid-format)
 - b. Attributtfil med egenskaper for alle utløsningsområder (.txt-format)
 - c. Aktsomhetskart med og uten skog (ESRI ASCII Grid-format)



Figur 2-1: Flytskjema som viser gangen i beregningene og inputdata i NAKSIN 4.

I Figur 2-2 sammenlignes kjøring av NAKSIN 4 for et enkelt løснеområde med en hendelse i Kildalen vinteren 2023. Aktsomhetskartet summerer opp alle områder som dekkes av skred når alle potensielle skred er beregnet i et gitt område.



Figur 2-2: NAKSIN 4 beregning av skredet i Kildalen (venstre). Lilla linje viser løснеområdet, rød linje viser selve omrisset av hendelsen, mens den blå linjen indikerer utløpet for NAKSIN 4 uten skogeffekter. Foto av skredet (høyre) (Foto Martin Stefan, NVE).

3 Inngangsdata

Nødvendige input-filer til NAKSIN 4 er kun utstrekning av kartleggingsområde, terrengmodell (Tabell 3-1, 1-2), samt en initialiseringsfil (se vedlegg B). For å ta høyde for effekt av skog og urbane områder trengs også kartlagene 3–6 samt 10 i Tabell 3-1. Alle kartfilene dekker det samme området, og er klippet til utstrekningen av prosessområdet, dvs. av området der skredprosesser kan ha innvirkning på kartleggingsområdet.

Tabell 3-1 Kartfiler for kjøring av NAKSIN 4.

	Input fil	Filtype	Oppløsning	Filnavn
1	Kartleggingsområde	.shp		xxxxbuf_HMA.shp
2	Terrengmodell	.asc	10 m	xxxx_DEM.asc
3	Kronedekning	.asc	10 m	CC.asc
4	Treantall	.asc	10 m	Ntrees.asc
5	Brysthøydiameter	.asc	10 m	DBH.asc
6	Tretype	.asc	10 m	Tretype.asc
7	Tretype sannsynlighet	.asc	10 m	Tretype_probability.asc
8	Fjernmålingsår skog	.asc	10 m	Fjernmaling.yr.asc
9	Hogstår skog	.asc	10 m	Hogst_yr.asc
10	Urbane områder	.asc	10 m	Xxxx_Urban.asc

3.1 Initialisering av modellen

En initialiseringsfil (run initialization file, *.rif) i tekstformat er påkrevet for kjøring av modellen (et eksempel på en fullstendig fil benyttet i kjøringene er inkludert i Vedlegg B). Initialiseringsfilen inneholder i tillegg til filstier og referansesystemer informasjon om parameterinnstillinger for utløsningsområder, friksjon og numerikk i modellkjøringen.

Følgende parametersetting er benyttet for generering av aktsomhetskartene:

Tabell 3-2: Egenskaper for beregning av friksjon

Friction parameter calibration	
Tiny avalanche volume (m3)	5 000
Small avalanche volume (m3)	10 000
Medium avalanche volume (m3)	25 000
Large avalanche volume (m3)	60 000
Low-temperature threshold (deg C)	-4
High-temperature threshold (deg C)	-2
Flat-slope curvature (1/m)	0
Open-slope curvature (1/m)	0.002
Channelized curvature (1/m)	0.01
Gully curvature (1/m)	0.05

Tabell 3-3: Numeriske parametere og andre innstillinger

Numerical parameter	
Comp. grid resolution (m)	10
Min. timestep (s)	0.000 1
Max. timestep (s)	0.5
Min. deposit depth (m)	0.1
Width of buffer zone (m)	0
Max. simulation time (s)	90
Number of Monte Carlo trials	2 500 000
Forest	2*
Urban	1

*betyr at det er kjørt både med og uten skogeffekter

3.2 Kartleggingsområde

NAKSIN 4 er kjørt enkeltvis for hvert kartblad i 1:50 000 Topografisk hovedkartserie (Geonorge, kartbladinddelinger WMS, 2022). Hvert kartblad inngår i modellen som en vektor-fil (.shp-format) og definerer prosesseringsområdet. For å inkludere aktsomhetsområder hvor utløsningsområdet og/eller utløpsområdet er utenfor kartbladet er det benyttet en buffer på ca. 2000 m for alle kartblad. Resultatfilene er deretter sydd sammen til et landsdekkende datasett (se Kap. 7.2.1).

3.3 Terrengmodell

Landsdekkende terrengmodell med 10×10 m² oppløsning fra Statens kartverk (2022) (nedlastingsdato: 7. sept. 2022) er benyttet i beregningene. Terrengmodellen er basert på høydeinformasjon fra lasermålinger samlet inn gjennom prosjektet Nasjonal detaljert høydemodell (NDH, 2022) i perioden 2016 til 2022, samt flyfoto (bildematching). Laserdataene har en punkttetthet som muliggjør minst 1 m oppløsning for hele landet. Flyfoto er benyttet i høyereliggende områder uten skog, hvor det ikke er utført laserscanning.

Romlig referansesystem for terrengmodellen er EUREF89 UTM sone 33N, og alle andre inngangsdata til modellen er transformert/konvertert til samme referansesystem og grid.

3.4 Skogsdata

Skogsdata er generert fra SR16 skogsdatasettet produsert og levert av NIBIO (NIBIO, 2022). Nye parametere i SR16 beta datasettet ble også laget på for å dekke behovene for inputdata i NAKSIN, og en ny og oppdatert versjon av SR16 beta for hele Norge ble kjørt i september 2022 spesielt for produksjon av NAKSIN. Datasettet er fremstilt gjennom automatisk prosessering av 3D fjernmålingsdata (fotogrammetri og laser), terrengmodeller, satellittdata, eksisterende kartdata (AR5) og data fra Landsskogflater. Laserinformasjon fra norsk detaljert høydemodell og Sentinel-2 data er viktige grunnlagsdata

i produksjonen av SR16. De fleste skogsegenskapene benyttet i NAKSIN 4 baserer seg i stor grad på laserdata fra Statens kartverks scanning; kronedekning, treantall og brysthøydediameter. Treslag og treslag sannsynlighet støtter seg imidlertid i større grad på andre kilder. Alle data er levert i rasterformat med 16 m oppløsning, og referansesystem UTM33N. I SR16-beta benyttes skogsgrense fra datasettet Norgeskart 1:50 000 (N50).

Tabell 3-4: Skogsparametere som inngår i NAKSIN 4 (Nearest = Nearest neighbor).

Parameter i NAKSIN 4	Beskrivelse	Kilde	Resampling
Kronedekning (CC)	% dekning av totalt areal	Lidar	Bilinear
Brysthøydediameter (DBH)	Gjennomsnittlig diameter (cm) ved 1.3 m over bakken	Lidar	Bilinear
Treantall (N)	Antall trær / ha	Lidar	Nearest
Treslag	Dominerende treslag	Flyfoto/satellitt	Nearest
Treslag sannsynlighet	Sannsynlighet for treslag, %	Flyfoto/satellitt	Nearest
Fjernmålingsår skog	Årstall for opptak av 3D fjernmålingsdata	Lidar	Nearest
Hogstår skog	År for detektert hogst	Global Forest Watch	Nearest

Fjernmålingsår og hogstår:

Fjernmålingsår er året for opptak av 3D fjernmålingsdata, og er for størsteparten av Norge gjennomført i perioden 2016–2022. Enkelte steder er dataene fra tilbake til 2010. For at informasjonen i SR16 i størst mulig grad skal samsvare med den faktiske skogtilstanden er SR16-dataene benyttet i NAKSIN 4 ajourført med informasjon om hogst i september 2022. Satellittbasert deteksjon av hogst gjennom Global Forest Watch er benyttet for å identifisere hogstfelt som har oppstått etter fjernmålingstidspunkt. Verdien av de laserbaserte skogsegenskapene som faller innenfor områder der satellittbildene indikerer hogst er satt til 0. Informasjonen om fjernmålingstidspunkt blir også oppdatert for de aktuelle rastercellene. Både fjernmålingsår og hogstår inngår som attributt for hvert utløsningsområde.

Preprosessering i GIS:

Skogsdataene resamples til 10 m oppløsning, snappes til DEM-grid og klippes etter kartbladutstrekning. Resamplingsmetode varierer med skogsparameter (Tabell 3-4), avhengig av om det er kontinuerlige data eller ikke.

Skogsparametere benyttes i følgende deler av NAKSIN 4:

- ↗ Ekskludering av potensielle utløsningsområder for områder med barskog og svært høy kronedekning (treslag, kronedekning)
- ↗ Beregning av utløsnings sannsynlighet (treslag, kronedekning, ...)
- ↗ Bremsende effekt på skred i bevegelse (treantall, brysthøydediameter)

3.5 Klimadata

Griddede klimadata basert på seNorge2-datasettet (seNorge; Lussana et al., 2018; Saloranta et al., 2016) inngår både i beregning av utløsnings sannsynlighet (Kap. 5) og i valg av friksjonsparametere (Kap. 6.3) for utløpsberegning (vintertemperatur). Tidsseriene for årene 1957 – sept. 2022 er benyttet.

3.6 Urbane områder

Urbane områder er definert ut fra polygoner i AR50 med artype = 10. Disse er konvertert til ett raster per kartblad med samme oppløsning og snapping som 10 m DTM-grid.

4 Potensielle utløsningsområder

Potensielle utløsningsområder (PRAs) velges ut basert på terreng, skogs-, og befolkingskriterier, og deles opp i enkelte utløsningsområder med tilhørende attributter i en femdelt prosess:

1. Beregne terrengparametere
2. Selektare potensielle utløsningsområder for snøskred
3. Geometrisk filtrering
4. Gruppere utløsningsområder
5. Tilegne attributtliste til hvert utløsningsområde

4.1 Beregning av terrengparametere

Terrengparametere er beregnet med tilsvarende metoder som er implementert i ArcGIS Pro:

Helning er beregnet med Horns metode (Horn, 1981) ut ifra 8 omkringliggende celler, hvor nærmeste celler er vektet mer enn diagonale celler:

Plan kurvatur beregnes i henhold til (Zevenbergen & Thorne, 1987), men beregnet på en DEM glattet over 5×5 cellers vindu.

Flytretning beregnet med D8-algoritmen (bratteste av 8 retninger ut fra et gitt punkt). Benyttes for inndeling av dreneringsområder, som videre benyttes for oppdeling av utløsningsområder. Denne flytretningen er ikke benyttet i utløpsberegningene.

4.2 Seleksjon av potensielle utløsningsområder

Potensielle utløsningsområder selekteres ut ifra en rekke terrengkriterier, samt skogstetthet og urbane områder etter følgende prosedyre:

1. $28^\circ \leq \text{Helning} (\theta) \leq 60^\circ$

2. Plankurvatur $< 0.01 \text{ m}^{-1}$
3. Urbane områder ekskluderes
4. Ekskluderer områder med barskog (treslag = 1 og 2) og $CC > 60\%$ ved 30° helning, og $CC > 80\%$ ved 45° helning: $CC > 60\% + 1,333 (\theta - 30^\circ)$
5. Ekskluderer områder med løvskog (treslag = 3) og $CC > 80\%$ ved 30° helning, og $CC > 90\%$ ved 45° helning: $CC > 80\% + 0,667 (\theta - 30^\circ)$

Resultatet er et binært raster med verdi 1 for PRAs og 0 ellers.

Tabell 4-1: Terskelverdier for avgrensing av utløsningsområder

Release area properties	
Limit annual probability (1/y)	0.001
Min. release angle (deg)	28
Max. release angle (deg)	60
Min. release area (m ²)	400
Max. release area (m ²)	200 000
Max. release area altitude extent (m)	9999
Max. release area curvature (1/m)	0.01
Max. release area extent ratio	5.0

4.3 Geometrisk filtrering

Utløsningsområdene definert i et binært raster filtreres med følgende to funksjoner i en iterativ prosess som kjøres opp til 5 ganger ved at celler definert som utløsningsområde ekskluderes dersom:

1. Cellen har mindre enn 2 naboceller definert som utløsningsområde. Celler med felles kant telles med 1, mens celler med kun felles hjørne telles med $\frac{1}{2}$. (Dette fjerner "utstikkere".)
2. Cellen ikke har naboceller i en av koordinatretningene ("flaskehals").

4.4 Gruppering og oppdeling av store utløsningsområder

Prosess for gruppering av utløsningsområder:

1. Sammenhengende utløsningsområder grupperes, og hvert område tilegnes et unikt identifikasjonsnummer (id).
2. Store utløsningsområder ($> 200\,000 \text{ m}^2$) deles opp langs dreneringsfelt bestemt av en basin / watershed algoritme.
3. Små utløsningsområder ($< 400 \text{ m}^2$) elimineres.
4. Påfølgende renummerering av id'er etter punkt 2. og 3.

4.5 Tilegning av attributtlister til hvert utløsningsområde

For hvert utløsningsområde tilegnes en rekke attributter som beskriver terreng, klima og skogsforhold. Noen av disse benyttes videre i sannsynlighetsberegningene (Tabell 4-2), mens en rekke andre attributter kun gir informasjon til endelig resultatfil (Tabell 7-1).

Tabell 4-2: Egenskaper per utløsningsområde som benyttes for sannsynlighetsberegning

Release area properties	Benevnelse
Gjennomsnittlig helning	ϕ
Maksimal høyde i utløsningsområdet	Zmax
Treslag (mest sannsynlige tretype)	Treslag
Gjennomsnittlig brysthøydediameter	BHD
Kronedekning	CC
Gjennomsnittlig stammetetthet \times BHD	nD

5 Utløsningssannsynlighet

Utløsningssannsynlighet for hvert enkelt utløsningsområde beregnes basert på 65 år med klimadata. Dersom beregnet utløsningssannsynlighet overstiger 1/1000 per år, beregnes en bruddhøyde for den gitte utløsningssannsynligheten. Denne brukes som input for å kjøre en dynamisk skredberegning med det angitte utløsningsområdet og med estimert bruddhøyde. Metodikken er beskrevet i detalj i Gauer (2018).

Daglige verdier av gjennomsnittlig lufttemperatur (TA – gjennomsnittlige vintertemperatur desember-februar), nedbør (RR), snøhøyde (HS), nysnøtilvekst (HNW) og snøvannekvivalent (SWE) fra SeNorge-datasettet for perioden 1957–2022 er lagt til grunn for sannsynlighetsberegningen for hvert utløsningsområde. Data er valgt fra den av de omkringliggende 9 gridcellene med lik eller høyere gjennomsnittshøyde til utløsningsområdet. Hvis man da ikke har funnet en celle som tilfredsstillende disse kravene velges den høyeste av cellene som er lavere. Deretter etterprosesserer (de syntetiske) klimadataene, som tilsvarer N_{sample} dager, med følgende prosedyre:

1. Fjerne outliers
2. Fjerne dager uten snødekke, definert som snøhøyde (HS) $<$ 0.05 m, fra alle tids-serier. Dette gir et sample på $N_{\text{snø}}$ dager med snødekke.
3. Beregne andel av dager med snø i full tidsserie, $r_{\text{snø}} = N_{\text{snø}} / N_{\text{sample}}$.
4. 3-døgns snøtilvekst (HNW3) og 3-døgns nedbør som regn (HNW3T) er beregnet som sum av 1-døgns verdier.
5. Regn på snø er beregnet som differansen mellom 3-døgns nedbør (RR3) og 3-døgns snøtilvekst (HNW3).

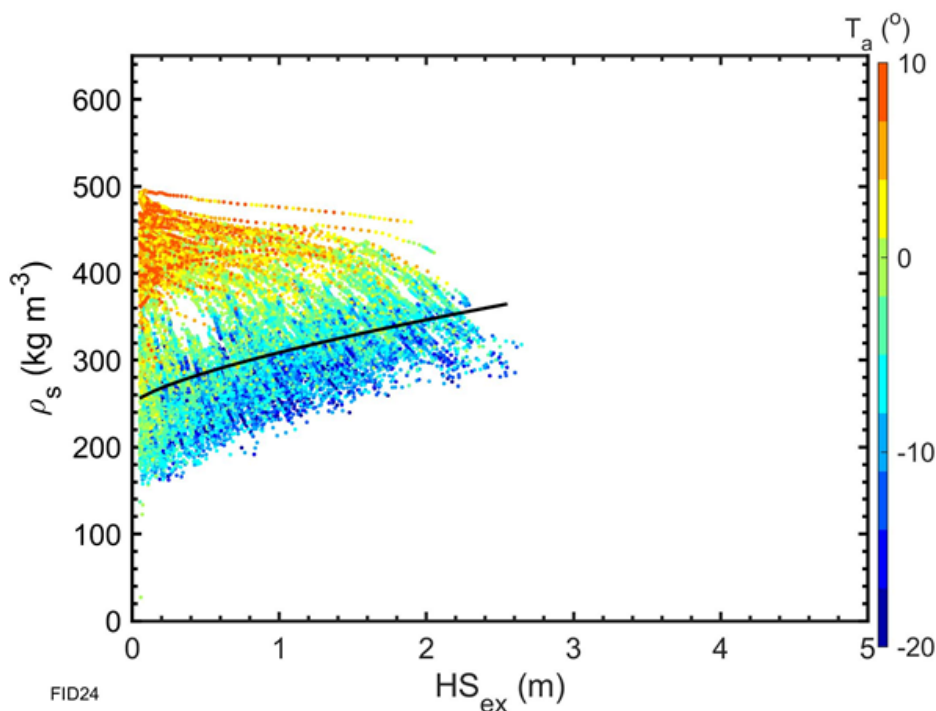
5.1 Beregning av skjærstyrken som en funksjon av snøtetthet

Sannsynlighetsfordelinger (kernel distribution functions, KPDF) beregnes for alle klimaparametere (HNW – nedbør, HS – snøhøyde, TA – lufttemperatur etc.) ved å bruke en gaussisk kernel for å glatte og interpolere de observerte fordelingsfunksjonene over de 65 årene med daglige verdier. Fordelingsfunksjonen er gitt som en fordeling med 2.5 mill. enheter (parameter nMC – antall Monte Carlo simuleringer - i styringsfilen). Dette gir HS_{rnd} og HNW_{rnd} .

Daglig fordeling av gjennomsnittlig tetthet av snødekket (ρ) beregnes deretter for hver dag som forholdet mellom SWE (vannekvivalenten) og HS. Minimum/maksimum verdier er 10 og 600 kg/m³. Det antas at den gjennomsnittlige tettheten øker med snøhøyde og temperatur, og den relative tettheten med dybden i snødekket.

For alle dager med $TA < 0^\circ\text{C}$ beregnes en ikke-linear fit av gjennomsnittlig tetthet avhengig av snøhøyden mot en funksjon av form $\rho(HS) = a + b \cdot HS^c$. De tilpassede parameterene a , b , og c benyttes til å beregne fordelingen av tilfeldige tettheter (ρ_{rnd}) som en funksjon av snøhøyde (se f.eks. Gauer, 2018 og referanser i denne):

$$\rho_{rnd} = \max[a + b \cdot HS_{rnd}^c, 10.0], \quad (1)$$



Figur 5-1: Tetthet til snøpakken (ρ_s) som en funksjon av snøhøyde (HS).

Gjennomsnittlig tetthet for snøpakken under smelting beregnes som et gjennomsnitt over alle dager med $TA > 2^\circ\text{C}$. For alle syntetiske dager med $TA > 2^\circ\text{C}$ erstattes ρ_{rnd} med denne konstante verdien.

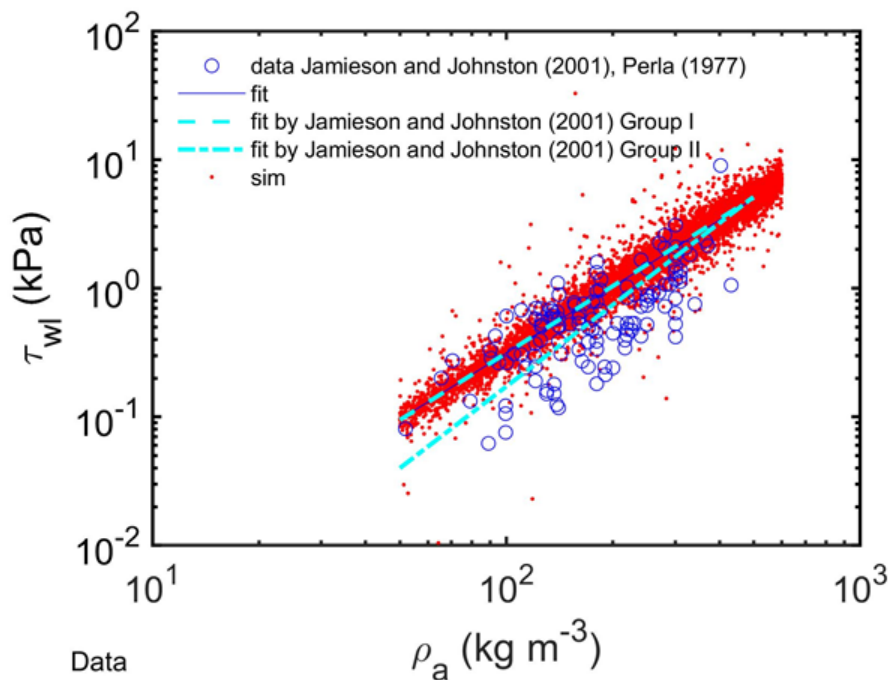
Deretter gjøres en tilfeldig sampling av den relative dybden til det svake laget (α) ved å gjøre 2.5 mill. tilfeldige utvalg mellom 0.01 og 1.

Basert på de syntetiske fordelingene av gjennomsnittlige ρ_{rnd} og relativ dybde til det svake laget α , begge med lengde 2.5 mill, beregnes tettheten rett ved det svake laget (ρ_{adj}) og gjennomsnittlig tetthet (ρ_{slab}) ovenfor det svake laget som en funksjon av maksimal tetthet (ρ_{max}) i snøpakken. For enkelhets skyld antas det at tetthet på overflaten (ρ_{ns}) er halvparten av gjennomsnittlig tetthet, dvs. $\rho_{\text{ns}} = 0.5 \cdot \rho_{\text{rnd}}$:

$$\rho_{\text{max}} = \frac{\rho_{\text{rnd}} - d_c \rho_{\text{ns}}}{1 - d_c} = \frac{1 - 0.5 d_c}{1 - d_c} \rho_{\text{rnd}}, \quad (2)$$

$$\rho_{\text{adj}} = \rho_{\text{ns}} + (\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{ns}}) \cdot (1 - e^{-\alpha/d_c}), \quad (3)$$

$$\rho_{\text{slab}} = \rho_{\text{max}} - (\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{ns}}) \cdot \frac{d_c}{\alpha} \cdot (1 - e^{-\alpha/d_c}). \quad (4)$$



Figur 5-2: Sammenheng mellom skjærstyrke og tetthet fra ulike studier (Gauer, 2018)

Skjærstyrken i det svake laget beregnes som en funksjon av tetthet, og følger sammenhengen fra Group II i Jamieson & Johnston (2001) (Figur 5-2):

$$\tau_w = 0.0138 \text{ Pa} \cdot \rho_{\text{adj}}^{2.05} \cdot 10^{f_{\text{rnd}}}, \quad (5)$$

med ρ_{adj} målt i kg/m^3 og en tilfeldig multiplikativ faktor der eksponenten f_{rnd} ble valgt som Students t -fordeling med parameterne $\nu = 7.26$ (antall frihetsgrader), $\mu = -0.6$

(lokasjon) og $\sigma = 42.23$ (skala), delt med tettheten like ved det svake laget. Funksjonen `stat.t.rvs` i Python-modulen `SciPy` produserer et sample av denne fordelingen:

$$f_{\text{rnd}} = 2.0 / \max(\rho_{\text{adj}} [\text{kg}/\text{m}^3], 300.0) \quad (6)$$

`· scipy.stat.t.rvs(7.26, scale = 42.23, loc = -0.6, size = 2 500 000)`

5.2 Effekt av skog på snøstabilitet

Skogens effekt på utløsningssannsynligheten inkluderes ved å legge til en effektiv skjærstyrke til skjærstyrken i det svake laget. Det er både tatt høyde for den støttende effekten av stammene, samt reduksjon av snøhøyde. Effekten avhenger av kronetetthet, stammetetthet (nD ; antall trær per ha \times brysthøydiameter (BHD, i meter)) og dominerende treslag.

Kronetetthet (CC) avhenger av kroneradius (CR [m]) og antall trær per ha. Det er benyttet en empirisk parametrisering av CR som en funksjon av brysthøydiameter (BHD [m]) for hvert treslag (Bebi et al., 2022; Perzl et al., 2022):

$$\text{CR}(\text{grandominert}) = 0.6122 + 5.36 \cdot \text{BHD}, \quad (7)$$

$$\text{CR}(\text{furudominert}) = \sqrt{\frac{67 \cdot \text{BHD}^2 + 21.26 \cdot \text{BHD}}{\pi}}, \quad (8)$$

$$\text{CR}(\text{løvdominert}) = 0.1617 + 10.3 \cdot \text{BHD}. \quad (9)$$

Kronedekningsgrad (CC) og effektiv stamme Leaf Area Index (LAI_{st}) er beregnet som

$$\text{CC} = \min[\pi \cdot \text{CR}^2 \cdot n \cdot D, 1], \quad (10)$$

$$\text{LAI}_{\text{st}} = \frac{-\ln(1 - \text{ffc}(\text{treslag}) \cdot \text{CC})}{0.5}, \quad (11)$$

hvor $\text{ffc}(\text{treslag}) = [0.85, 0.75, 0.40]$ for treslag = [gran, furu, løvdominert].

Snøhøyden reduseres relativt til kronetetthet og treslag i relasjon til effektiv stamme Leaf Area Index (LAI_{st}):

$$\text{HS}_{\text{skog}} = 0.5 \cdot (1 + e^{-\text{LAI}_{\text{st}}/1.7}) \cdot \text{HS}, \quad (12)$$

Skjærstyrken er modifisert etter følgende formel:

$$\tau_{w,\text{skog}} = \tau_w \cdot (1 + 0.5 \cdot \text{CC} \cdot \text{ffc}) + \text{RF}_0, \quad (13)$$

med approksimasjoner hentet bl.a. fra (Rudolf-Miklau et al., 2014):

$$RF_0 = FF_1 \cdot FK_{\text{fac}} \cdot [\rho_{\text{ns}} \cdot HS^2 - \rho_{\text{slab}} \cdot HS^2 \cdot (1 - \alpha)^2], \quad (14)$$

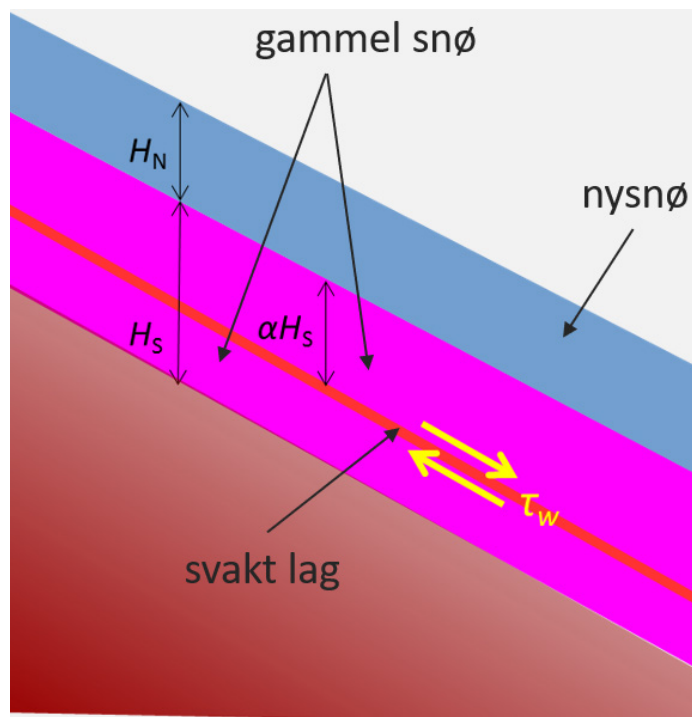
$$FF_1 = \frac{1}{2} \cdot n \cdot D \cdot (1 + 0.15 \cos \varphi) \cdot NG \cdot g \cdot \cos \varphi, \quad (15)$$

$$FK_{\text{fac}}(s) = 2 \sin \varphi \cos \varphi \cdot (2.5s^3 - 1.86s^2 + 1.06s + 0.54), \quad (16)$$

hvor NG (glidefaktor) = 2.0 og $s = \rho_0 / (1000 \text{ kg/m}^3)$.

5.3 Estimert sannsynlighet og bruddhøyde

En "inifite-slope approximation" som følger Gauer (2018) er benyttet for å vurdere stabiliteten til snøpakken. En skjematisk fremstilling av snøpakken er vist i Figur 5-3, hvor det svake laget er lokalisert en avstand αH_s under overgangen mellom gammel snøpakke (H_s) og ny snø (H_n).



Figur 5-3: Forenklet snøpakke-oppbygging benyttet i beregningen av utløsningssannsynlighet. H_s og H_n er dybdene til henholdsvis gammel snø (H_s) og nysnø (H_n). τ_w er styrken til det svake laget, som er representert med tynn rød linje i gammel snøpakke.

Grunntanken er at man beregner balansen mellom skjærspenning og skjærstyrke i det svake laget på et skråplan, slik at snøpakken går til brudd dersom skjærspenningen (Σ , formel (17)), overstiger skjærstyrken (τ_w).

$$\Sigma = (\alpha H_s \rho_{\text{slab}} + H_n \rho_n) g \sin \varphi \cos \varphi, \quad (17)$$

hvor $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ og $\varphi =$ gjennomsnittlig helning i utløsningsområdet.

NAKSIN 4 tar ikke hensyn til variasjoner i helning eller stabilisering på grunn av støttekrefter fra omkringliggende snødekke. Skjærspenningen beregnes før og etter snøfall, dvs. ved $HN = 0$ og $HN_{3d} = 3\text{-døgns nysnøhøyde}$.

Tilfeldige utvalg av bruddhøyder (z), tetthet til flaket (ρ_{slab}) og 3-døgns snøtilvekst ($HNW_{3\text{md}}$) har alle lengde 2.5 mill. For å ta høyde for regn-på-snø hendelser beregnes skjærspenningen for alle syntetiske dager med temperatur $> 0^\circ\text{C}$ basert på en egen fordelingsfunksjon for 3-døgns HNW på dager med $TA > 0^\circ\text{C}$.

Av alle $N_{\text{snø}}$ syntetiske snødager benytter man bare de (N_{stabil}) hvor snødekket er stabilt før nysnøfall, som vi antar er tilfelle dersom sikkerhetsfaktoren $SF_0 = \tau_w / \Sigma > 1.03$. For disse dagene beregnes sikkerhetsfaktoren etter snøfallet, SF_{ns} , og dagen telles som skreddag dersom $SF_n < 1.0$. Dette gir en utløsnings sannsynlighet per snødekkedag $P_{\text{rel}} = N_{\text{rel}} / N_{\text{snø}}$.

Årlig utløsnings sannsynlighet beregnes som $365 P_{\text{rel}} \times (\text{antall snødekkedager} / \text{antall dager}) = 365 P_{\text{rel}} r_{\text{snø}}$. (En snødekkedag er definert som en dag med $HS > 0.05 \text{ m}$.)

Dersom et snøfall fører til skredutløsning, kan dette skje i løpet av snøfallet, så snart skjærspenningen overstiger det svake lagets skjærstyrke, eller etterpå pga. midlertidig svekkelse av snødekket pga. oppvarming og metamorfose. NAKSIN tar ikke hensyn til skredutløsning etter snøfallet. For hver "skreddag" i samplet beregnes og lagres bruddhøyden normal på terrenget (d_f) for alle de estimerte sannsynlighetene,

$$d_f = \frac{\tau_w}{\rho_{\text{ref}} g \sin \varphi}, \quad (18)$$

hvor ρ_{ref} er satt til 210 kg m^{-3} . Dersom den årlige utløsnings sannsynligheten overstiger 1/1000 per år, plukkes den bruddhøyden som tilsvarer en sannsynlighet på 1/1000 per år, basert på plassering i lista over over d_f . Denne verdien benyttes deretter som bruddhøyde i utløpsberegningen for det gitte utløsningsområdet.

6 Utløpsberegninger

6.1 MoT-Voellmy

Utløpsberegningene ble gjennomført med modellen MoT-Voellmy (versjon 2022-03-25), utviklet av NGI siden 2011 (Issler, under utarbeidelse), og ligner i hovedtrekk RAMMS::AVALANCHE (Christen et al., 2010). Skredet beskrives som en ikke-Newtonsk væske med friksjon som beveger seg over en krummet overflate under den kombinerte virkningen av tyngdekraften og friksjon. Tettheten til skredet er antatt konstant, og effekten av snøska, som kan i noen tilfeller nå mye lengre enn skredets tette del, er ikke inkludert. I bevaringsligningene for masse og impuls brukes middelveier over

flyte høyden. I NAKSIN 4 benyttes kun maksimalverdien av flyte høyden i hver celle gjennom hele beregningsløpet. Aktsomhetskartet lages ved å kombinere de simulerte utløpsarealene til alle skredløpene i kartleggingsområdet (se kap. 7). Maksimalverdien av hastigheten i hver celle lagres også og er inkludert i leveransen i komprimert form, slik at den kan ved behov vises i GIS. Resultatfilene lagres i ESRI ASCII Grid-format.

MoT-Voellmy bruker Voellmys friksjonslov, som antar at bakkemotstanden består av to komponenter, en som er proporsjonal med skredmassen og en som øker med kvadraten av skredhastigheten. De tilsvarende parameterne er μ og k (som er lik g/ξ i RAMMS). k har stor innflytelse på skredets hastighet mens μ er friksjonsvinkelen.

Medrivning av snø langs banen er kjent som et viktig fenomen, og MoT-Voellmy tilbyr mulighet til å ta hensyn til det. For beregning av aktsomhetskart ble denne funksjonen imidlertid slått av fordi medrivningsfunksjonen ikke er tilstrekkelig verifisert ennå og det er behov for en ny kalibrering av μ og k dersom medrivning inkluderes.

Hvert beregningsløp med MoT-Voellmy styres av en tekstfil som spesifiserer hvilke opsjoner av modellen som skal benyttes (f.eks. terrengkrumningseffekter, medrivning, bremsende effekt av skog, variable friksjonsparametere), navnene til de nødvendige rasterfilene for terrengmodellen, utløsningsområdet med bruddhøyden, skogegenskaper (avsnitt 6.4) og friksjonsparametere (avsnitt 6.3). Disse styringsfilene er også arkivert, slik at simuleringer kan gjentas ved behov.

For aktsomhetskartet ble simuleringene gjennomført på den samme terrengmodellen med 10 m oppløsning som ble brukt for å finne potensielle utløsningsområder. I mer detaljerte undersøkelser brukes det oftest et grid med 5 m cellelengde, men erfaring viser at utløpsdistansen er tilnærmet den samme ved 10 m cellelengde.

6.2 Tilrettelegging av inngangsdata til MoT-Voellmy

For hvert skredløp som skal simuleres, legger NAKSIN 4 til rette inngangsfiler ved å:

1. Klippe ut en tilpasset digital terrengmodell og rasterfil for utløsningsområdet samt bruddhøyde.
2. Klippe ut tilsvarende rasterfiler for stammediameter og skogtetthet dersom det tas hensyn til den bremsende effekten av skog.
3. Beregne de lokale verdiene av μ og k iht. terrengform, klimasone, skredstørrelse og ønsket skredsannsynlighet (1/1000 per år for aktsomhetskartet).
4. Skrive en spesifikk styringsfil for MoT-Voellmy.
5. Starte simuleringen.
6. Sende eventuelle feilmeldinger til operatøren, slik at de kan rettes før resultatene fra alle simuleringene slås sammen til aktsomhetskart.

Denne delen av programmet benytter parallell prosessering, dvs. flere skredløp beregnes samtidig på ulike prosessorer. For å begrense behovet for minne og lagringsplass, tilpasses simuleringområdet for hvert skredløp ved (i) å beregne den gjennomsnittlige asimuten φ av utløsningsområdet, (ii) estimere den maksimale utløpslengden L som

$$L = (\lg A - 2) \cdot 1000 \text{ m}, \quad (19)$$

hvor A er arealet av utløsningsområdet, målt i m^2 , (iii) finne punktet R som ligger en distanse L fra middepunktet M av utløsningsområdet i retning φ , deretter punktene P og Q som ligger en distanse $\alpha \cdot L$ fra R i rett vinkel på linja MR , og (iv) klippe ut det minste rektangel som innbefatter P , Q og utløsningsområdet samt en ekstra buffersone på 200 m. For å være på den sikre siden, ble $\alpha = 1$ valgt. Hvis $A = 1$ da, 10 da, 1 ha, 10 ha og 1 km^2 , får man henholdsvis $L = 0, 1, 2, 3$, og 4 km.

6.3 Friksjonsparametere

Friksjonsparameterne i Voellmy-modellen har ikke direkte fysikalsk betydning og kan derfor ikke bestemmes ut fra snøens egenskaper. Parameterne må i stedet kalibreres basert på mange observasjoner og målinger. SLF i Sveits har gjennomført en slik kalibrering for RAMMS::AVALANCHE og oppsummert den i en omfattende tabell (SLF, 2017). MoT-Voellmy gir tilnærmet de samme resultatene som den sveitsiske modellen dersom de samme parameterverdiene brukes, og SLFs kalibrering er derfor benyttet som utgangspunkt for parametervalget for aktsomhetskartet.

SLF bruker ulike μ og k -verdier avhengig av skredets returperiode og størrelse (lavere friksjon for svært sjeldne og for store skred). I tillegg varierer parameterne avhengig av høydelinjenes krumning og høyden over havet. NAKSIN avviker fra SLFs parametertabell i to hensyn:

1. SLF kategoriserer høyde over havet i 3 kategorier og skredstørrelse, terrengkrumning og returperiode i 4 kategorier hver (til sammen $3 \times 4^3 = 192$ ulike kategorier), med til dels store sprang i parameterverdiene mellom kategorier. For å unngå romlige sprang i parameterverdier bruker NAKSIN lineær interpolering mellom midtpunktene av hver kategori. Unntaket er returperioden T , der interpoleringen er logaritmisk (dvs., lineær i $\lg T$).
2. Høydekategoriene (< 1000 m o.h., 1000–1500 m o.h., > 1500 m o.h.) er tilpasset forholdene i de sveitsiske Alpene og må tilpasses de lokale forholdene i Norge. Man kan for eksempel ikke bruke de samme kategoriene på tilsvarende høyder i Sør-Norge og i Finnmark, eller ved kysten sammenlignet med østafjells i et mer kontinentalt klima. Høyde over havet har i seg selv ingen betydning for friksjonsverdiene, den er kun brukt som proxy for temperaturen, som har stor og direkte innflytelse på snøegenskapene og friksjonen i et skred. Gjennomsnittlig vintertemperatur Θ (desember til februar) er beregnet basert på SeNorge-datasettet, og brukes til interpolering av friksjonsverdiene. Klimastatistikk for Sveits viser at 1000 og 1500 m o.h. tilsvarer henholdsvis $\Theta = -2.0$ °C og $\Theta = -4.0$ °C. For hver celle (i,j) i simuleringsområdet estimerer NAKSIN temperaturen som $\Theta_{ij} = \Theta_0 + Z_{ij} \cdot q$, der Θ_0 er vintertemperaturen (i °C) ekstrapolert til havnivå og q er temperaturgradienten (i °C m^{-1}). For hver SeNorge celle på 1 km^2 beregnes Θ_0 og q gjennom lineær regresjon av vintertemperaturen og gjennomsnittlig høyde over havet til cellen (i,j) og dens åtte naboceller. Er den lokale Θ mellom -2.0 °C og

–4.0 °C, interpoleres friksjonsverdiene lineært mellom verdiene i den første og tredje kategorien, ellers brukes verdien av den tilsvarende kategorien.

Sammendrag av interpoleringsformlene som ble brukt for aktsomhetskartet:

- Skredet som skal beregnes har returperiode T_* og volum V_* . En gitt celle i simuleringssområdet har høyde Z_* m.o.h. og plan krumning κ_* .
- Først finnes kategorigrensene $V_-, V_+, \kappa_-, \kappa_+, T_-, T_+, \Theta_-, \Theta_+$, som oppfyller $V_- \leq V_* \leq V_+$, osv. Ut fra disse beregnes vekt faktorer

$$w_V = (V_* - V_-) / (V_+ - V_-) \quad (20)$$

osv. Hvis V_* er mindre enn den laveste kategorigrensen (5000 m³ ifølge SLFs tabell), settes $w_V = 1$, og hvis V_* er større enn den høyeste kategorigrensen (60 000 m³), settes $w_V = 0$; og tilsvarende for κ_* . I tilfelle returperiode begrenses ekstrapoleringen til minimalt 10 og maksimalt 300 år:

$$w_T = \{\lg[\max(10, \min(300, T_*))] - \lg T_-\} / (\lg T_+ - \lg T_-) \quad (21)$$

- Verdiene av $\mu(V, \kappa, \Theta, \lg T)$ og $k(V, \kappa, \Theta, \lg T)$ beregnes gjennom kvadrilineær interpolering i 4D kvaderen $[V_-, V_+] \times [\kappa_-, \kappa_+] \times [\Theta_-, \Theta_+] \times [\lg T_-, \lg T_+]$. I stedet for den uoversiktlige fullstendige formelen vises kun de første to stegene i oppbyggingen nedenfor. I steget deretter uttrykkes $\mu(V_{\pm}, \kappa_{\pm}, \Theta_*, T_*)$ gjennom vekten w_{Θ} og $\mu(V_{\pm}, \kappa_{\pm}, \Theta_{\pm}, T_*)$, og til slutt får man et uttrykk for $\mu_{ij}(V_*, \kappa_*, \Theta_*, T_*)$ som består av 16 termer med $\mu(V_{\pm}, \kappa_{\pm}, \Theta_{\pm}, T_{\pm})$ og de tilhørende vekt faktorene.

$$\begin{aligned} \mu_{ij} &= w_V \mu(V_+, \kappa_*, \Theta_*, T_*) + (1 - w_V) \mu(V_-, \kappa_*, \Theta_*, T_*) \\ &= w_V [w_{\kappa} \mu(V_+, \kappa_+, \Theta_*, T_*) + (1 - w_{\kappa}) \mu(V_+, \kappa_-, \Theta_*, T_*)] \\ &\quad + (1 - w_V) [w_{\kappa} \mu(V_+, \kappa_+, \Theta_*, T_*) + (1 - w_{\kappa}) \mu(V_+, \kappa_-, \Theta_*, T_*)]. \end{aligned} \quad (22)$$

6.4 Bremsende effekt av skog

MoT-Voellmy tar hensyn til den bremsende effekten av skog ved å modifisere de lokale friksjonsparametrene μ_{ij} og k_{ij} i hver celle til $\mu_{ij} + \Delta\mu_{ij}$ og til $k_{ij} + \Delta k_{ij}$ i henhold til de lokale skogsforholdene. Dette skjer på hvert tidskritt fordi $\Delta\mu_{ij}$ og Δk_{ij} avhenger av skredets flythøyde h og fordi skredet kan ødelegge skogen.

Basert på publiserte laboratorieeksperimenter med granulære medier og numeriske simuleringer, tilnærmes bremseeffekten av en skog med n stammer per m² med gjennomsnittlig brysthøydiameter D (m) som

$$\Delta\mu = 2.5 n D h \cos \theta \quad \text{og} \quad \Delta k = 0.5 n D h \cos \theta, \quad (23)$$

der θ er den lokale terrenghelningen. For et skred med flyte høyde $h = 1,5$ m som strømmer gjennom en tett, moden skog med 500 stammer per ha ($n = 0,05 \text{ m}^{-2}$) som har gjennomsnittlig diameter $D = 0,4$ m, øker motstanden med $\Delta\mu \sim 0,02\text{--}0,03$ og $\Delta k \sim 0,004\text{--}$

0,006. Etter NGIs oppfatning er SLFs (gamle) anbefaling (SLF, 2017) med $\Delta\mu = 0$ og $k \sim 0,025$ (tilsvarende $\zeta = 400 \text{ m s}^{-2}$) ikke realistisk.

Dersom skredet ødelegger skogen, kan bremseeffekten avta dramatisk. MoT-Voellmy sjekker etter hvert tidskritt i hver celle (i,j) med skog om dreiemomentet fra det dynamiske trykket overstiger bæreevnen til et tre med diameter D_{ij} . Hvis det er tilfelle, settes det et flagg ved denne cellen og den effektive verdien av $n \cdot D$, som brukes i ligning (23) reduseres med en faktor $1 - \lambda_{ij}\Delta t$ i hvert tidskritt framover (λ er nedfallskoeffisienten, se under).

Dreiemomentet på treet beregnes ut fra formelen

$$M = \frac{c_D}{2} \rho u^2 D \cdot \frac{h^2}{2}, \quad (24)$$

med en motstandskoeffisient på $C_D = 2$. Skredets tetthet, ρ , ble i denne sammenheng satt til 250 kg m^{-3} for aktsomhetskartet. For å anslå treets bæreevne, antas det at treet ikke veltes men knekkes. Det maksimale dreiemomentet uttrykkes gjennom den såkalte modulus of rupture (MoR), som har størrelsesorden 40–60 MPa, avhengig av tretype, alder og fuktighet i trevirket:

$$M_{\max} = \frac{\pi}{32} \cdot \text{MoR} \cdot D^3 \approx (5-6) \text{ MPa} \cdot D^3. \quad (25)$$

Nedfallskoeffisienten λ (s^{-1}) modellerer at krattskog legges ned nesten øyeblikkelig mens et kjempetre faller i flere sekunder og fortsetter å bremse skredet mens det faller. Her brukes formelen

$$\lambda(D) = \frac{0.2 \text{ m s}^{-1}}{D}. \quad (26)$$

Med dette er $1/\lambda$ lik 0.5 s for trær med $D = 10 \text{ cm}$ og lik 5 s for et tre med $D = 1 \text{ m}$.

7 Resultatfiler

7.1 Resultatfiler fra NAKSIN 4

Følgende hovedresultatfiler produseres og lagres for hvert kartblad:

- Utløsningsområder kategorisert etter ID – raster (*allrel_wf.asc*)
- Aktsomhetskart – raster (*aktsomhetskart_wf.asc*)
- Tekstfil med egenskaper tilhørende hvert utløsningsområde, sorter etter ID (*release_area_properties.txt*)

Disse tre resultatfilene produseres både for simulering med (*wf*) og uten (*nf*) skogseffekt.

For hvert utløsningsområde kjøres en utløpsberegning som beskrevet i Kap. 6, og maksimalverdien av flythøyden i hver celle gjennom hele beregningsløpet lagres som en

rasterfil. Aktsomhetskartet for et gitt kartblad beregnes som summen av alle utløpsberegninger med en flyte høyde over 0.1 m. Resultatfilen indikerer derfor for hver gridcelle hvor mange skred som hadde en flyte høyde > 0.1 m i den gitte cellen.

7.2 Produksjon av landsdekkende aktsomhetskart

7.2.1 Sammenslåing til landsdekkende raster-datasett

NAKSIN 4 er kjørt for alle kartblad med en buffer på 2000 m for å være sikker på at alle potensielle snøskredprosesser som påvirker aktsomhetskartet innenfor kartbladet er inkludert. Ved sammenslåing til landsdekkende datasett klippes aktsomhetsområdene mot de faktiske kartbladgrensene og legges til i et MosaicDataset i en FilGeodatabase.

Til slutt eksporteres dette til et sømløst raster datasett.

7.2.2 Glatting og forenkling av aktsomhetskart

Polygonene med aktsomhetsområder er glattet ved å kjøre SmoothPolygon med PAEK algoritme og en toleranse på 50 m. Deretter er det kjørt SimplifyPolygon med Douglas-Peucker algoritme og en toleranse på 2 m. Til slutt er hull på under 1000 m² tett og polygoner på under 1500 m² fjernet.

På grunn av numerisk tilfeldig sampling for beregning av bruddhøyder er skredlengdene noen steder lengre i aktsomhetskartet med skog, sammenlignet med uten skog. Noen få steder er utløp også lengre på grunn av ulik oppdeling av utløsningsområder for aktsomhetskart med og uten skog. Årsaken til denne effekten er at utløsningsområdet med skog inkluderer kun øvre del av fjellsiden, og dermed kommer under arealgrensen for oppdeling av løsneområdet. I kartet uten skogeffekt er hele fjellsiden med som utløsningsområde, utløsningsarealet er vesentlig større, og blir dermed oppdelt i flere mindre utløsningsområder og blir deretter klassifisert med annen friksjon. De få stedene hvor aktsomhetskartet med skog har lengre utløp enn uten skog, er aktsomhetssonen uten skog satt lik aktsomhetssonen med skog. I de fleste tilfellene er det små forskjeller i utløpsberegningene (<10 - 20 m).

7.2.3 Konvertering til vektorformat

For å opprette polygoner av aktsomhetsrasteret, hvor verdiene i hver celle representerer antall utløpsområder, konverteres rasteret først til et raster med verdi 1 for aktsomhetsområder og NoData for øvrig. Deretter eksporteres dette til polygoner uten egenskaper.

7.2.4 Utløsningsområder i vektorformat

Utløsningsområdene konverteres direkte til polygoner uten glatting. For hvert kartblad finnes det en tilhørende tekstfil med egenskaper (*release_area_properties_wf.txt*). Disse verdiene legges til som egenskaper i på tilhørende polygon for hvert utløsningsområde. Liste av attributter per utløsningsområde er gitt i Tabell 7-1.

Tabell 7-1: Liste av egenskaper for hvert utløsningsområde.

Egenskap	Beskrivelse	Enhet
Label	ID	
Area	Areal	m ²
MaxZ	Maksimal høyde	moh
MinZ	Minimum høyde	moh
MeanZ	Gjennomsnittlig høyde	moh
Slope	Gjennomsnittlig hellning	°
TA	Gjennomsnittlige vintertemperatur (desember-februar)	°C
nD	Gjennomsnittlig nD (antall trær x BHD)	1/m
tD	Gjennomsnittlig brysthøydediameter (BHD)	m
CC	Gjennomsnittlig kronedekke	%
Treetype	Dominerende treslag	1,2,3
Probability	Årlig utløsnings sannsynlighet for snøskred	1/y
d0	Beregnet gjennomsnittlig bruddhøyde	m
V0	Beregnet utløsningsvolum	m ³
MoTver	MoT Voellmy versjon	yyyy-mm-dd
NAKSver	NAKSIN versjon	
DEM	Nedlastingsdato for DEM	yyyy-mm-dd
Forest	Produksjonsdato for skogsdata	yyyy-mm-dd
Scan (y)	Fjernmålingsår for skogsdata	år
Fcut (y)	Hogstår, dersom registrert hogst etter fjernmåling	år
Modelkjøring	Dato for modellkjøring	yyyy-mm-dd
Kartblad	Kartbladindeks, Statens Kartverk	

8 Validering

Det er krevende å finne en fullgod valideringsstrategi for landsdekkende aktsomhetskart for snøskred. Aktsomhetskartet skal reflektere en estimert årlig sannsynlighet på 1/1000 for snøskred, men det er få steder hvor man har god sikkerhet for nøyaktig utbredelse av denne sonen. Det er derfor brukt en kombinasjon av kvalitativ validering og kvantitativ validering, alle med hver sine fordeler og ulemper beskrevet under:

- **Registrerte skredskadepunkt (punkt):** NGI har en database på rundt 400 skredskadepunkter. Disse punktene har stort sett en høy stedlig nøyaktighet, men reflekterer skade på hus, vei og personer, og inkluderer derfor også skredvind-effekter. Disse punktene viser kun hvor langt skredet minst har nådd, og sier ikke noe om endelig utløpslengde.
- **Registrerte skredhendelser (polygon):** Skredhendelser tegnes inn enten på kart i felt eller fra foto etter befaring. Det er kun i de siste årene at drone brukes, som kan gi mer presis plassering av skred-utbredelsen. Med bruk av GPS er egen stedsinformasjon presis og til nytte i inn-tegning av skredhendelser under feltarbeid. En del polygoner er imidlertid tegnet inn fra tidligere registreringskart hvor det ble benyttet papirkart i målestokk 1:5000. Dette kan gi noe unøyaktig inntegning. Skredhendelser kan også være fra gammel tid, med mer eller mindre presis stedsinformasjon fra oppsittere (de som bor på gårdene). Normalt vil plassering og utløp av slike skred være knyttet til informasjon som er muntlige overleveringer over flere generasjoner. Polygo-nene vi har på kartet i dag har derfor ulik nøyaktighet og kan i tillegg være tegnet inn på feil sted. I noen tilfeller kan plassering at bygninger som ble tatt av skred gi nyttig informasjon om skredenes plassering. Gamle hustufter, evt. flytting av gårdshus kan være til hjelp. All kartinformasjon kan forbedres og vil kunne kor-rigeres etter hvert som bedre informasjon hentes fra historiske kilder eller fra mer presist feltarbeid med f.eks. vegetasjonsgrenser.
- **Kvalitativ vurdering av enkeltlokasjoner:** Kartene er i stor grad validert kva-litativt for enkeltlokasjoner hvor skredeksperter har lokalkunnskap, oversikt over tidligere kartlegginger, inkludert faresonekartlegginger hvor snøskred er dimen-sjonerende faretype. En liste over lokasjoner/områder som er validert kvalitativt er lagt ved i Vedlegg A. En utfordring med skredregistreringer er at returperioden er ukjent og dermed hva som blir rekkevidden for skred med lange returperioder. Det er derfor en utfordring å vite om rekkevidden i dalbunnen er nær en hendelse med returperiode på 1000 år. Noen skred vet vi er sjeldne, f.eks. når gammel bebyggelse tas av skred. Dette gir noe erfaring til kvalifisert antakelse om retur-periode for den enkelte skredregistreringen.

8.1 Skredskadepunkt – NGIs database

NGIs database inneholder 403 skredskadepunkt på Norges fastland. For det nye aktsom-hetskartet ligger 90% av punktene innenfor aktsomhetskartet med skogseffekt, og 94% innenfor aktsomhetskartet uten skogseffekt.

Samtlige skredskadepunkt som ligger utenfor NAKSINs aktsomhetssoner er undersøkt nærmere, og beskrevet i Tabell 8-1.

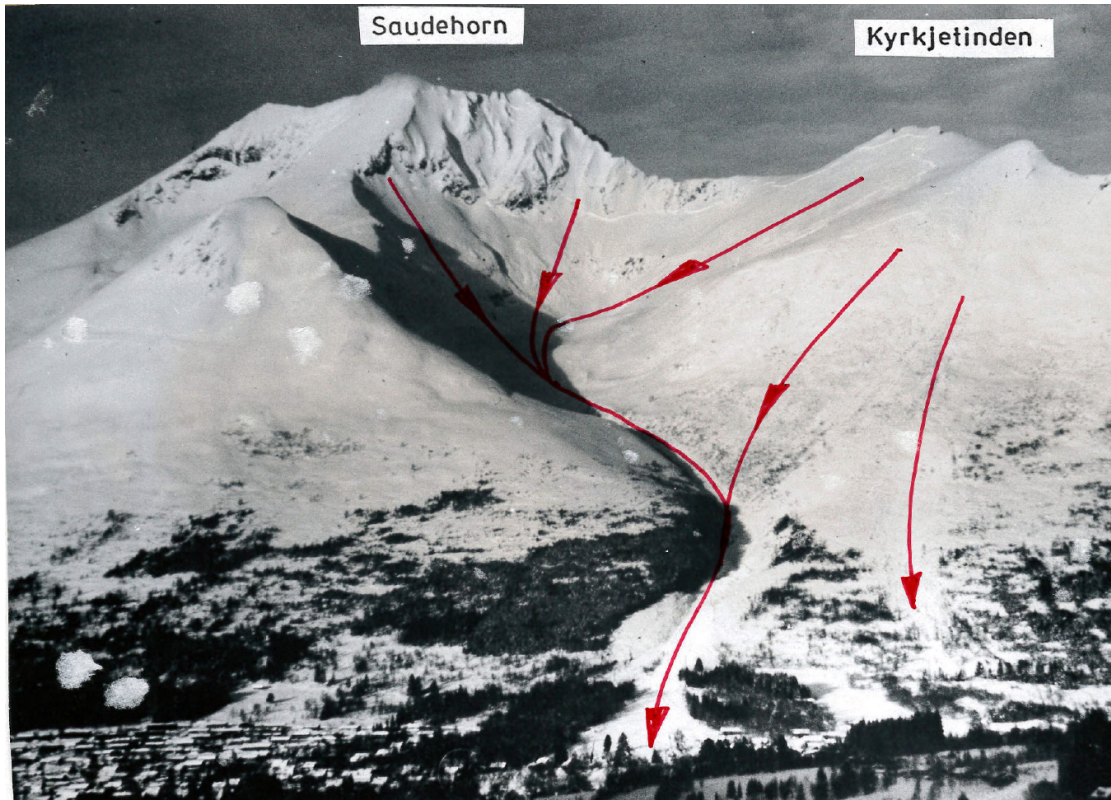
Tabell 8-1: Antall skredskadepunkter som ligger utenfor aktsomhetskartet med og uten skog.

Punkter som ligger utenfor kartet:	Skade-objekt	Med skog	Uten skog	Forklaring
Engesetfonna: 1979	Hus	11	11	Modellen fanger ikke opp fullt utløp
Bleie, 1994	Hus	3	3	Modellen fanger ikke opp retningsendring i skredbane i nedre del, mulig <1/1000
Riise, Sæbø, 1968	Hus	4	0	Modellen fanger ikke opp fullt utløp
Romsdalen, Halså og Hole, 1952/1982	Hus	4	1	Skredvind
Fonna Akura, Hjelle, 1933	Bil	1	0	Mulig skredvind
Oreimfonna på Hol i Sunndalen, 1953	Hus	1	1	Mulig skredvind
Valldal, 1979	Hus	1	0	2 m utenfor akt.sone med skog, skredvind
Tunvoll, Jostedal, 1979	Hus	1	1	Skredvind, 50m utenfor dagens sone
Skjåk 1913 – skade på hus	Hus	2	1	Trolig skredvind
Hjorteland, 1979	Hus	2	0	Sørpeskred har gått et stykke ut i slakt terreng. Vertikal fallhøyde ca 20 m utløst av vann i bekk høyere oppe fra. Lite skredområde.
Lalm, 1871	Hus	1	0	Mer skog i dag, men mulig litt kort utløp i modellen med skog.
Skåldal, Bergen 1979	Hus	1	0	Sørpeskred stoppet like utenfor aktsomhetskartet med skog
Div. høyfjell/-bekkedal	Skiløper	8	8	Småskala topografi
Totalt		40	26	

Enkelte sjeldne skred som har hendt siste 100 år er ikke fullt ut fanget opp i nytt aktsomhetskart. Dette gjelder særlig Engesetfonna, Bleie og Sæbø. I tillegg inkluderer mange skredutløp effekten av skredvind, som ikke er inkludert i modellen. Registreringer legges inn i databasen som snøskred, men er faktisk sørpeskred. Med mye vann kan sørpeskred gå vesentlig lengre ut enn snøskred. Nedenfor beskrives mange av skadepunktene som ikke er fanget opp av NAKSIN 4.

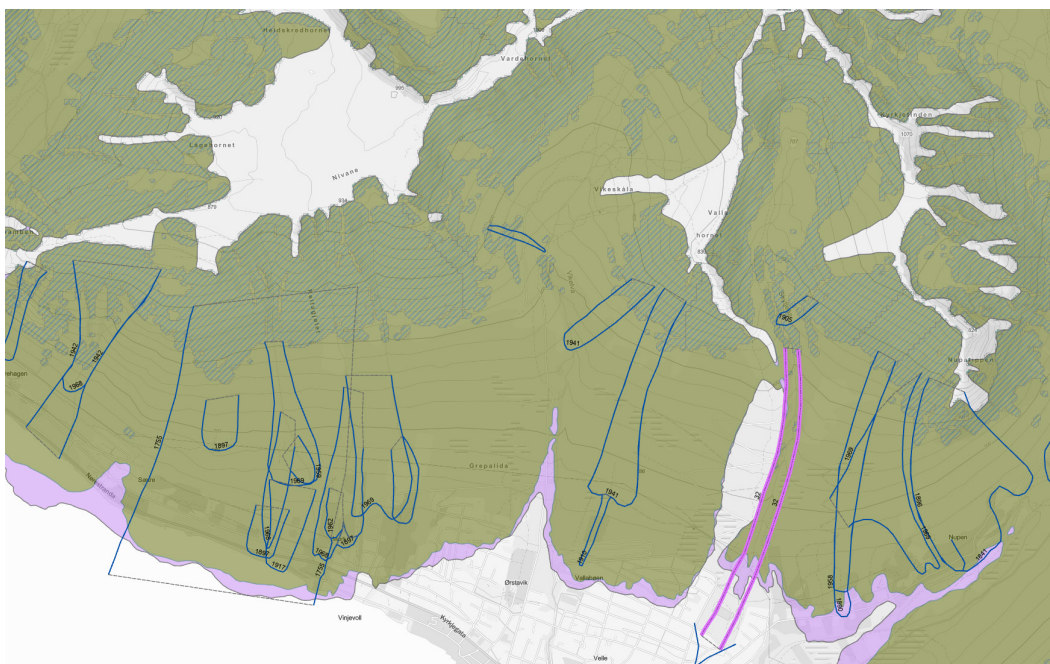
8.1.1 Engesetfonna

Skred gikk helt ut mot byggefelt og traff 11 bolighus i 1979 (Figur 8-1). Utløsningsområdet var svært stort, og bruddkanten ble målt til 3 km lengde. Det var også svært mye veldig lett og tørr snø helt ned til fjorden, og dermed også antatt svært lav friksjon i hele skredløpet.



Figur 8-1: Bildet viser Engesetfonna i 1979 (Foto Karstein Lied).

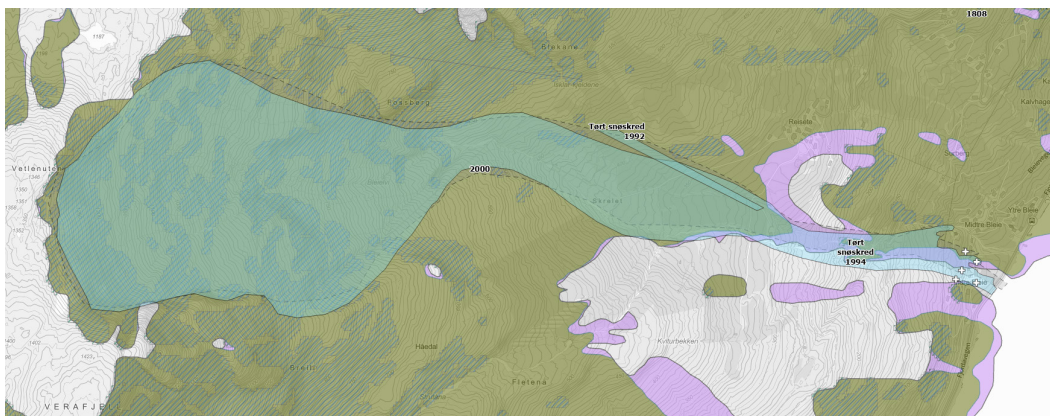
- ↗ Utløsningsområdet i NAKSIN 4 er mindre enn antatt historisk utløsningsområde, siden skålen er delt i to utløsningsområder.
- ↗ Skredutløp i modellen er for kort, trolig ikke bare på grunn av løsevolum, men også på grunn av for høy friksjon gjennom gjelet hvor skredet passerer. Friksjon for området er satt til noe høyere friksjonsklasser, både på grunn av normalt noe mildere vintere, og terrengformasjonene. Dette er trolig ikke representativt for skredhendelsen i 1979.
- ↗ De øvrige snøskredhendelsene i Ørsta sentrum ligger innenfor rekkevidden til NAKSIN 4 (Figur 8-2).



Figur 8-2: Engesetfonna med rosa strek. NAKSIN 4 beregning med grønn og fiolett farge er beregninger med og uten skog. Utløsningsområder med skog er med grønn skravur.

8.1.2 Bleie

Skredet på Bleie i 1994 gikk helt ned til fjorden i 3,6 km lengde og tok flere eldre gårds- hus. Det var ekstreme snøforhold, en ca. 1 km lang bruddkant, bruddhøyde på 3 m, og tørr snø ned til sjøen. Anslått utløsningsvolum er 0,7–1,0 mill. m³ (Sandersen, 1994). Beregninger antyder at skredet har en returperiode <1000 år. Modellen uten skog reproduserer lengde på utløp, men har en retningsendring i nedre del som ikke sammenfaller helt med observert retning i 1994. Dette kan skyldes at skredutbredelsen også var styrt av skredvind som i mindre grad enn faste skredmasser styres av topografien. Skredvind er ikke inkludert i NAKSIN 4.



Figur 8-3: Bleieskredet 1994 (øverste lag som gjennomsiktig lyst blått polygon, vises som lys grønn farge de fleste steder).



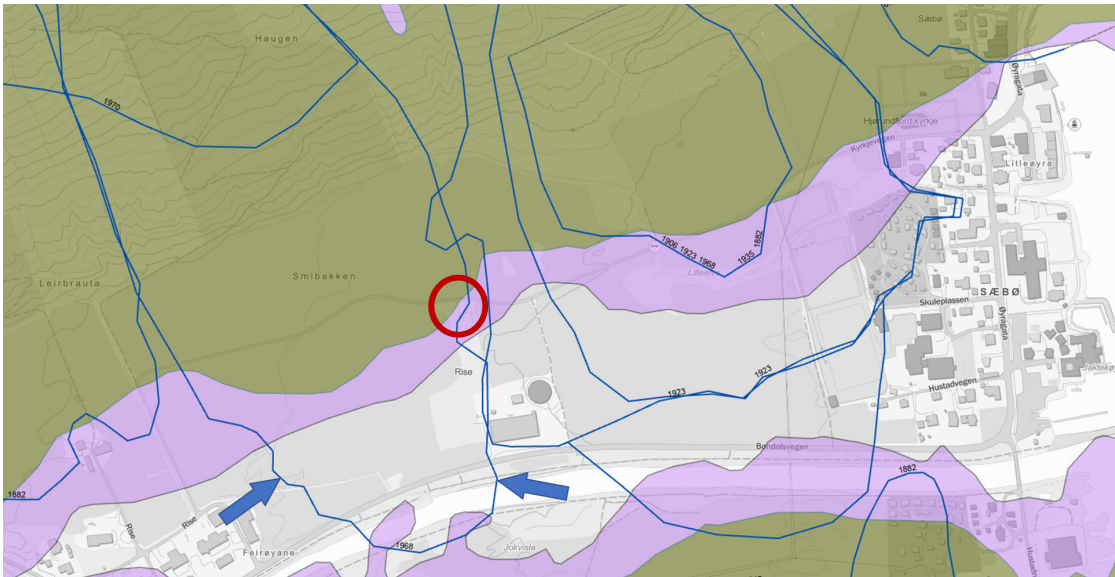
Figur 8-4: Bleieskredet 1994 (Foto U. Domaas, NGI).

8.1.3 Riisetunet ved Sæbø, Bondalen i Ørsta kommune

Skred i 1968 gikk 450 m på flat dalbunn og tok en gård. Tre personer omkom. Gården lå ca. 200 m ut i dalbunnen, og faste masser gikk i alle fall hit. Dette var et stort, sjeldent skred. Skredet tok ut granskog som senere ble brukt til å gjenoppbygge gården på nytt litt lengre opp i dalen. Skredvinden som nådde 450 m ut i dalbunnen er ikke fanget opp av NAKSIN 4.

Beregnet skredutløp i NAKSIN 4 med og uten skog når begge gårdstunet, men er kortere enn registret utløp fra skredet i 1968. Vi har ikke funnet god fotodokumentasjon som viser hvor langt ut den faste skredsnøen nådde. Det var mye løs snø i fjellsiden som tyder på at det var potensiale for en kraftig skredvind. Riisetunet anses å være den eldste

gården i Bondalen. Registrert skredutbredelse nådde 200–250 m forbi beregnet utløp uten og med skog (Figur 8-5, Figur 8-6, Figur 8-7).



Figur 8-5: Rød sirkel indikerer plasseringen av husa på Riisetunet i 1968. Blå strek (markert med blå piler) viser skredutbredelsen av snøskredet som traff gårdshusa. Beregnet skredutløp i NAKSIN med skog er vist med grønn farge, og utløp uten skog med fiolett farge.



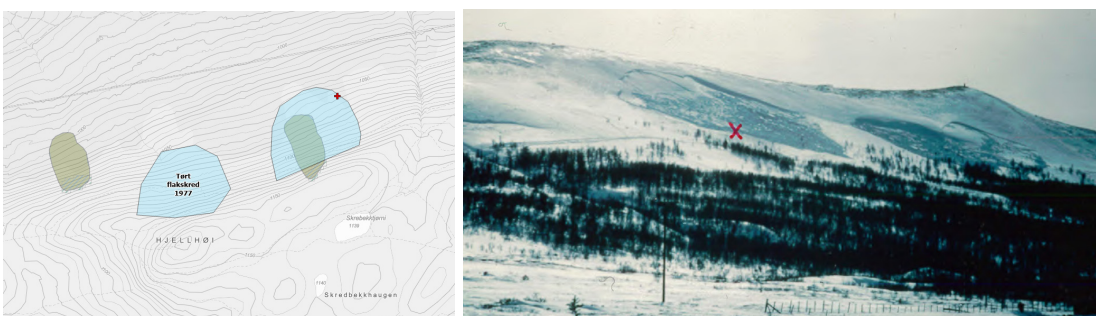
Figur 8-6: Larsastova ble flyttet av grunnmuren og ned på riksvegen; første etasje var knust. Det lå mye skredsnø med stor mektighet nede ved gårdshusa (Foto Anders Hustanes).



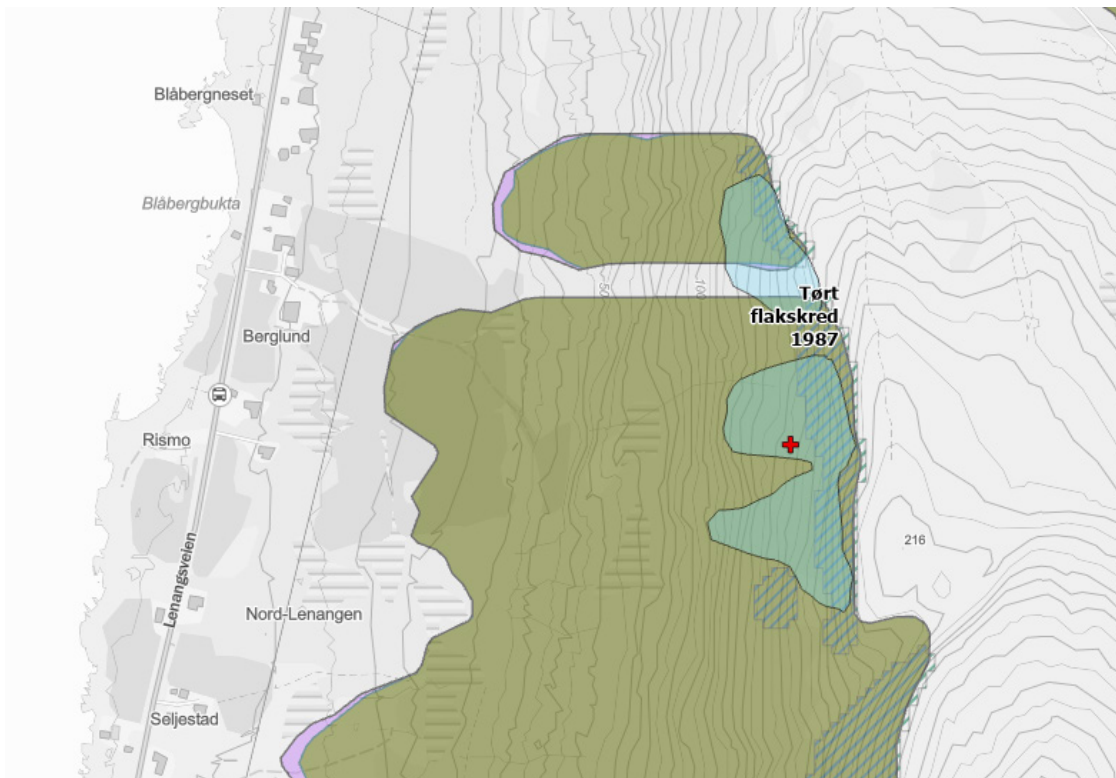
Figur 8-7: Om våren 1968 var sporene etter skredet tydelige (gårdshusa oppe til venstre). Skredet tok med granskogen i fjellsiden, og en god del løsmasser er dratt med skredstrømmen (Bildet er tatt fra Larsabakkane av Jarle Strandmann).

8.1.4 Skiløperskred i småskala terrengformasjoner

En del skiløperskred som har forekommet i høyfjellet på grunn av skavler/fokksnø i småskala topografi/bekkedaler fanges ikke opp av modellen. En del av disse har forekommet i terreng slakere enn 30 grader, eller i terreng med et svært lite heng brattere enn 30 grader (typisk < 20 m). I noen tilfeller kan snøavlagringen lokalt øke helningen i snødekket. Eksempel på slike skiløperskred er fra Dombås 1977 (Figur 8-8). Akeulykke i Nord-Lenangen, Lyngen, NØ for Tromsø, 1987, er fanget opp av aktsomhetskartet (Figur 8-9 og Figur 8-10).



Figur 8-8: Skiløperulykke Dombås 1977. Skredområdet er ikke kommet med i aktsomhetskartet.



Figur 8-9 Berglund, Nord-Lenangen, april 1987. Skredulykke med barn som akte i bratt terreng. Skredet var lite, og stoppet i øvre del av bjørkeskogen. Det er mulig med større skred i området.



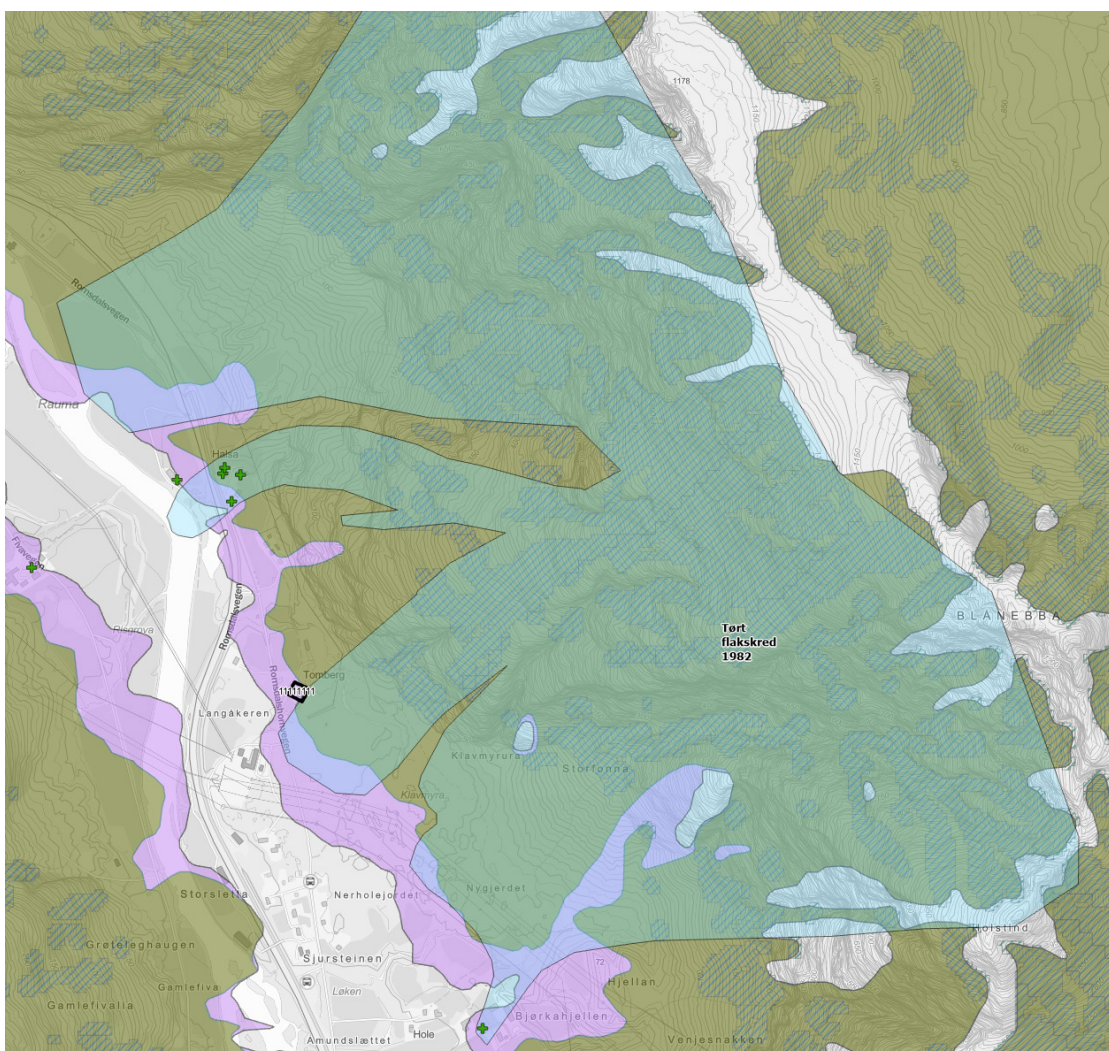
Figur 8-10 Nord-Lenangen, 1987. Bildet viser bruddkanten innunder åsryggen.

8.1.5 Skredvind

Videre er det en god del kjente skred hvor skredvind går utenfor dagens aktsomhetskart og i noen tilfeller har ført til store skader på bygg. Dette gjelder lokale skredløp i Halså i Romsdalen (se Tabell 8-1), Rotsundet, Stjernøya, Hjelle, Oreimsfonna på Hol, Skjåk, Valldal og Tunvoll i Jostedal. Under dokumenteres de tre første skredene. I tillegg så dokumenteres også et skred i Nærøyfjorden.

Snøskred Halsa, Romsdalen

Snøskredene var store, tørre flakskred som også genererte skredvind. Til dags dato er dette de største skredene vi kjenner til i dette området, så trolig er returperioden lav. For det meste favner NAKSIN 4-beregningene uten skog de registrerte snøskredene fra 1982, kun skredet ved Halsa gikk lengre ut (Figur 8-11). Ved Tomberg fikk en bolig skader ved at rom ble fylt med snø fra skredvinden, mens huset forble intakt. Lengre ut var det snø fra skredvinden på støtsiden av byggene, men det var lite skader å se. Figur 8-12 og Figur 8-13 viser skadene etter skredvinden mot Halsa gård. Uthuset ble nok truffet av den faste skredsnøen, mens de øvrige skadene for det meste skyldtes skredvind. Skadepotensialet i ytre deler av registrert utbredelse var lavt de fleste steder.



Figur 8-11: Snøskredregistrering fra 1982 i Romsdalen. Skredberegningene i NAKSIN uten skog favner de fleste registrerte utløpene.



Figur 8-12: Registrerte skredskader på Halså gård etter skredet i 1982

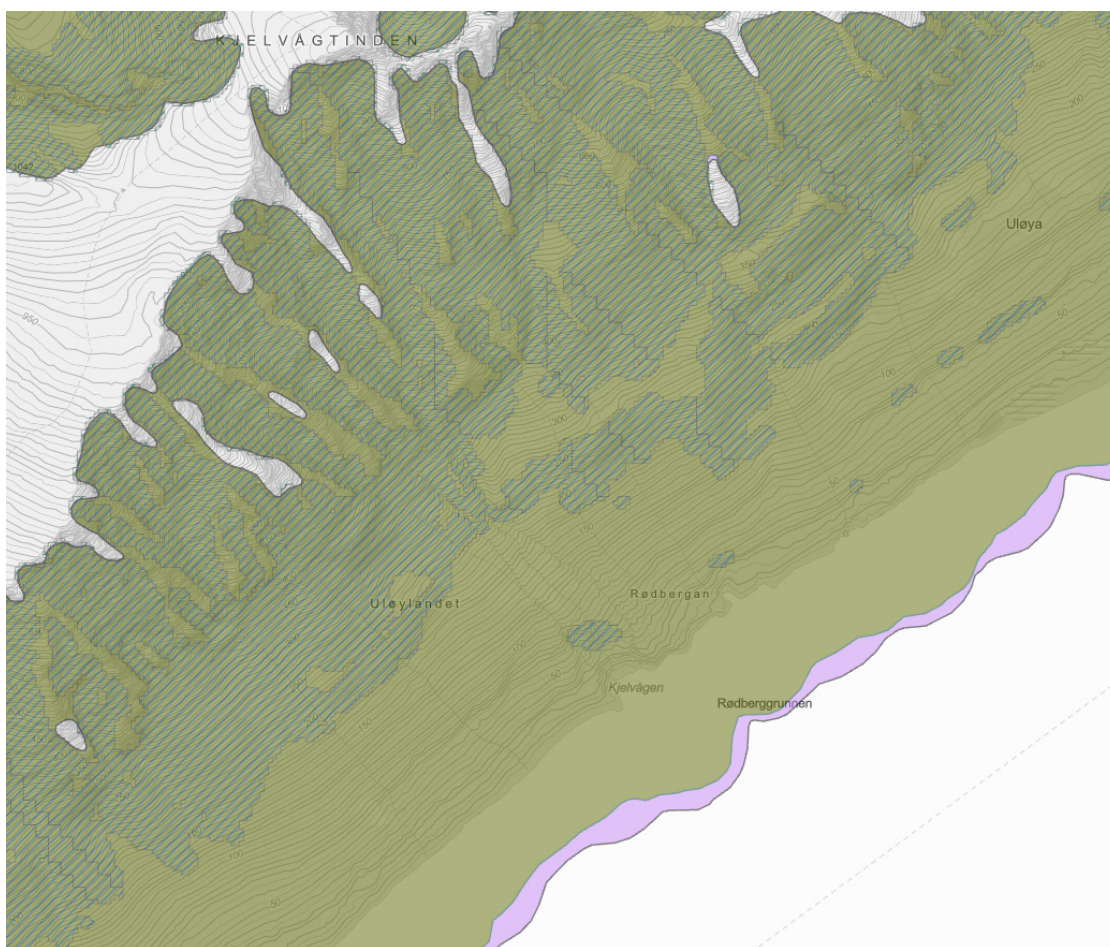


Figur 8-13: Halså gård etter skredhendelsen. Läven var knust, men grunnmuren sto.

Snøskred med skredvind fra Kjellvågtinden ut i Rotsundet ved Uløya

Fjellsiden under Kjellvågtinden er for det meste bratt nok til utløsning av snøskred. Også terrengformene med flere skåler og skar som kan samle mye snø når det blåser ligger til rette for utløsning av hyppige og store snøskred. Trolig kan det gå store skred ned til fjorden oftere enn hvert tiende år på den aktuelle strekningen. Faregrensen (for skredvind) ble lagt 500 m ut fra Uløya (1kPa og skredhastighet 30m/s). Under slike forhold kan skog ødelegges og personer rives overende. Faregrensen (skredvind) er ca. 150 m lengre ut enn rekkevidden for skred uten skog i det nye aktsomhetskartet.

Nedbørsobservasjonene ved Sørkjosen lufthavn 9. –31. januar 2013 viste at de siste seks dagene før skredhendelsen ble det registrert 70 mm nedbør på Sørkjosen lufthavn (~75 cm nysnø). Trolig kom det mer snø i fjellet på Uløya enn det som ble registrert ved havnivå. Skreddagen 23. januar blåste det V-NV kuling med kuldegrader og tørr snø helt ned til havnivå. Forvinteren var ellers kald med lite snø. Dette førte trolig til svake lag i bunnen av snødekket.



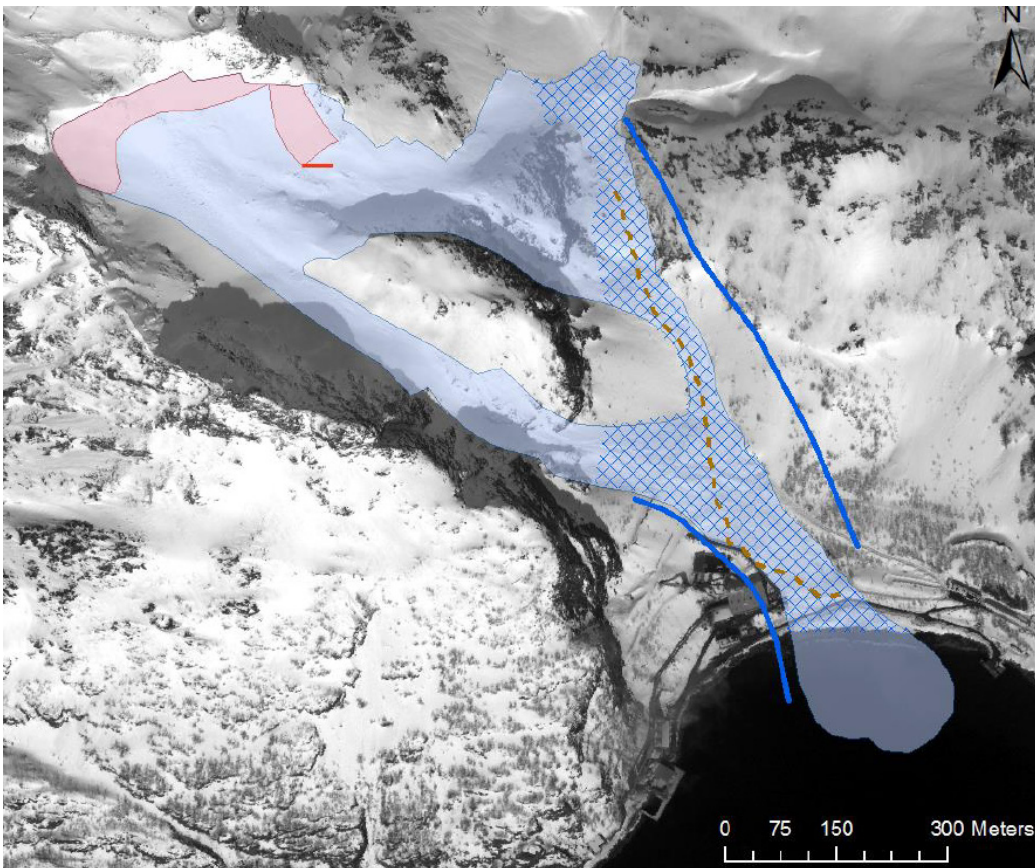
Figur 8-14: Snøskred mot mærer for lakseoppdrett i Rotsundet ved Uløya.



Figur 8-15: Bildet av skredet med skredsky/-vind som traff og skadet mærene i Rotsundet (Foto 23.01.2013 Kristoffer Øyjord).

Snøskred med skredvind ved gruve ved Lillebukt på Stjernøya, 2014

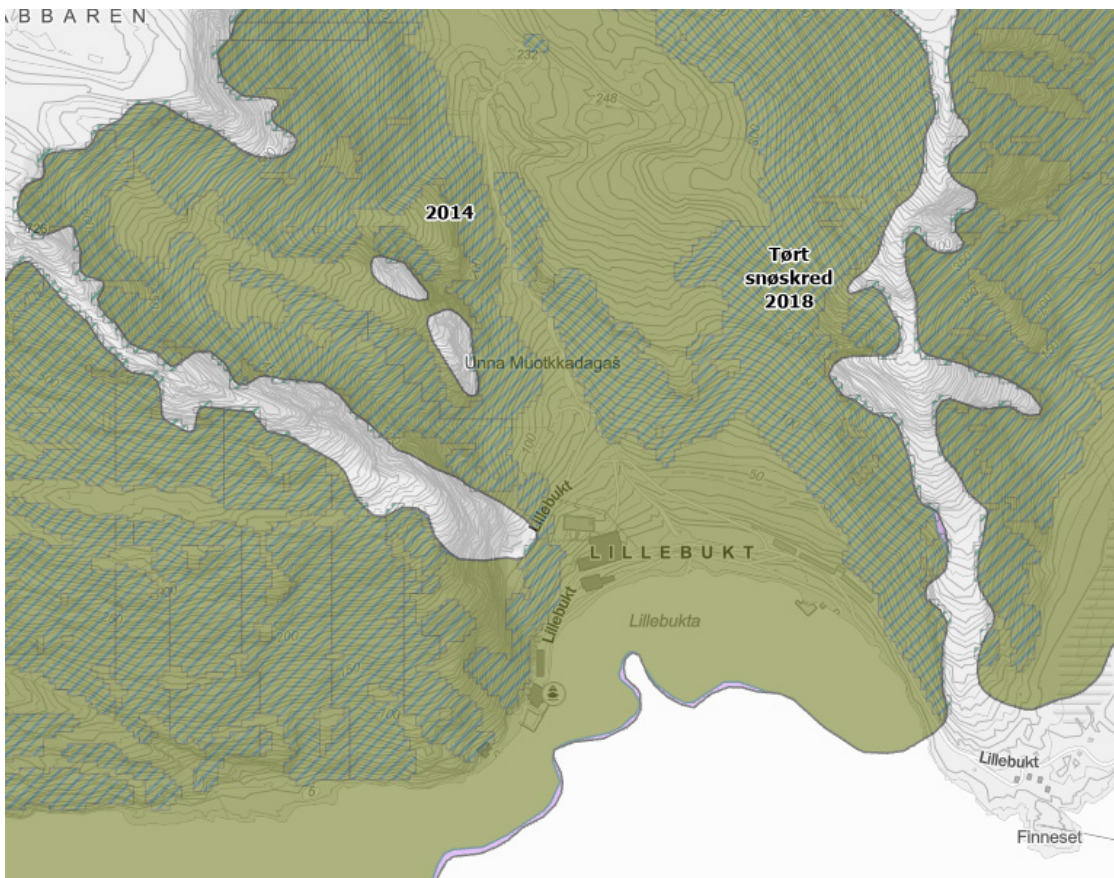
Snøskred ble utløst med dynamittladninger og filmet, Figur 8-16. Skredskyas utbredelse stemmer relativt godt med beregningene utført i NAKSIN 4, Figur 8-18.



Figur 8-16: Snøskred fra Nabbaren på Stjernøya. Skredutbredelsen av skredsky (i blå skravor) (fra Frauenfelder et al., 2014). Rosa områder er utløsningsområdet, lyst blå område er skredets utbredelse, brun linje er et GPS-spor fra feltarbeid.



Figur 8-17 Utløst snøskred med skredsky (08.04.2014, kl 11:44). Foto: Copyright Sibelco Nordic, Stjernøya, Alta.



Figur 8-18: NAKSIN 4 viser resultat langt ut i sjøen ved graven ved Lillebukta på Stjernøya.

Skredvind Nærøydalen, 2020

Et større tørt flaskred utløstes og utviklet seg med kraftig skredvind i fjellsiden. Ut fra video og kart ble hastigheten på det meste estimert til ca. 70 m/s i den bratte fjellsiden. Snøskya la skogen flatt i hele den ca. 300 m brede dalbunnen. NAKSIN med skog dekker hele dalbunnen i dette området.



Snøskred i Kjerrskredene filmet av Stine Larsen Ramsøy (2020)

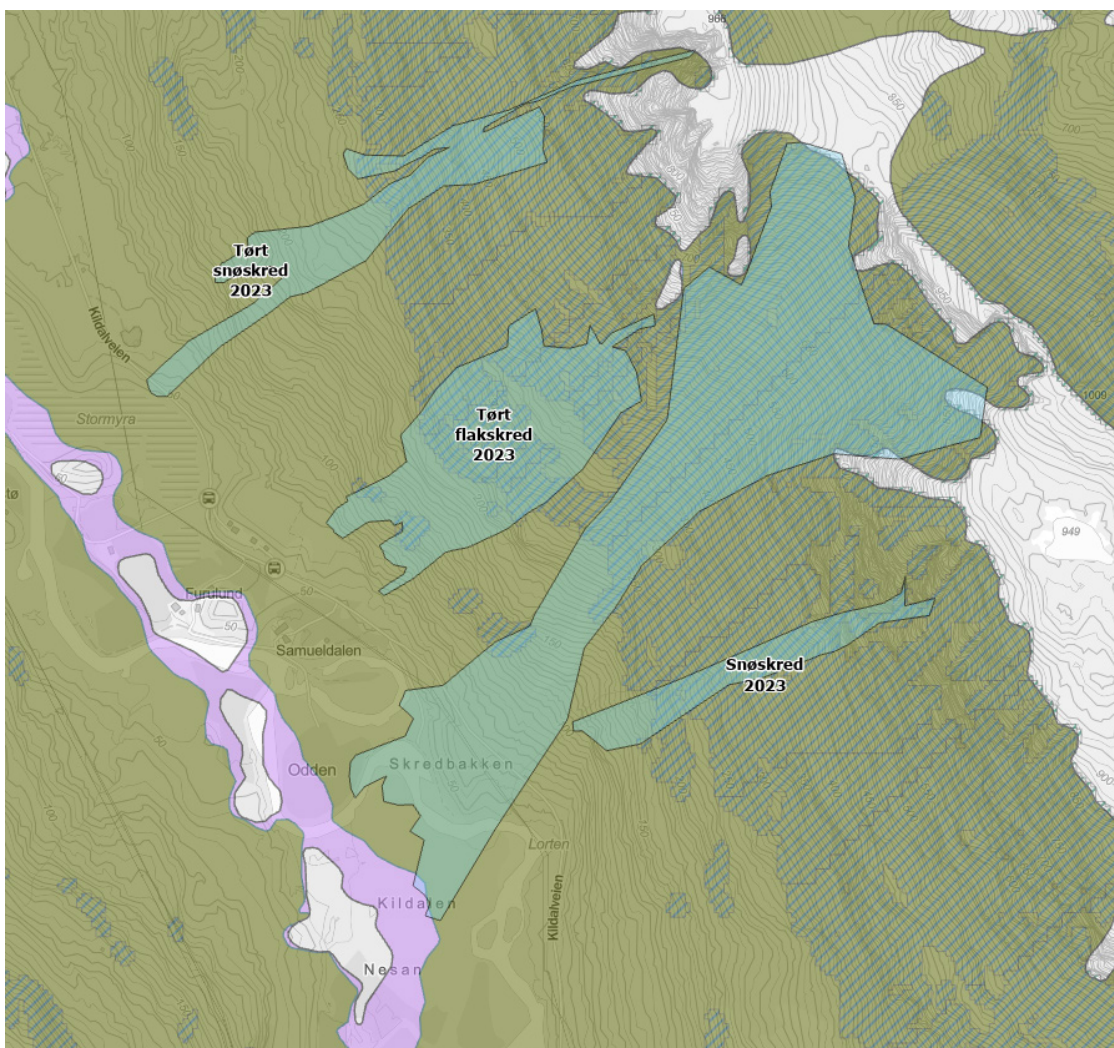
8.2 Registrerte skredhendelser (polygon) – NGIs database

De fleste registrerte skredutløp i tilgjengelige databaser har en nominell sannsynlighet høyere enn 1/1000, og et aktsomhetskart burde derfor inkludere disse områdene. Registreringene er imidlertid ofte unøyaktige, både i utløsningsområdet hvor aktsomhetskartet til sammenligning har en høy detaljgrad på grunn av terrengmodell som ligger til grunn, og også i utløp på grunn av usikre kilder. Mange av skredregistreringene inkluderer også både skredets faste masser og snøskyen. Det siste inkluderer ikke aktsomhetskartet per i dag.

Sammenligningen er gjort mot 2400 registrerte skredløp, og viser at 96% av arealet til disse skredløpene er fanget opp i det nye aktsomhetskartet med skogseffekt. De 4% som ligger utenfor er undersøkt kvalitativt. Mye av området skyldes unøyaktig/grovere kartlegging av enten utløsningsområdet eller utløpsområdet, eller begge deler. Videre skyldes en stor del av områdene skredsky i forkant av skred.

8.2.1 Eksempel fra Kildalen, tørre flakskred 2023

I Kildalen gikk det i 31.mars 2023 flere tørre flakskred. De to nordligste skredene tok ut mye skog, er trolig sjeldne med sannsynlighet $<1/100$, og det er ikke kjent at det har gått skred her før. NAKSIN 4 med skog går vesentlig lengre enn observerte skred. Dette ansees som ok for 1/1000 års skred. Det største skredet ligger akkurat innenfor beregningen for NAKSIN 4 med skog. Skredet tok mye eldre skog både til sidene og i nedre del av utløpet. Lokale kilder opplyser at forrige gang skredet gikk så langt var 5.mars 1986. Skredet den gang var smalere, men hadde tilsvarende utløpslegde. NAKSIN 4 med skog har trolig litt kort utløp for å representere en 1/1000 års grense her.



Figur 8-19: Kildalen, registrerte snøskred 2023.

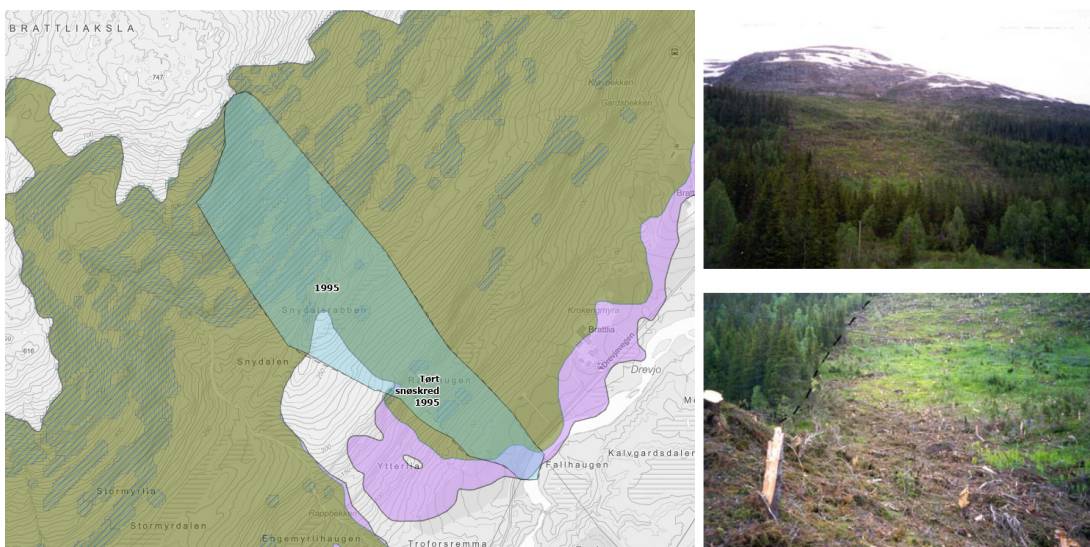


Figur 8-20: Foto av skredet ved Kildalen 2023 (Foto Martin Stefan, NVE).

8.2.2 Skred i skog

Drevja, Vefsn i 1995

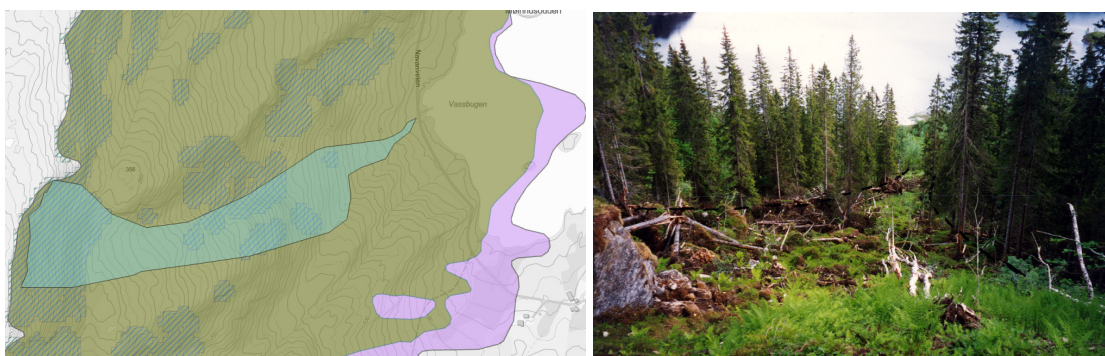
Et større snøskred tok ut stor skog i Drevja, Vefsn i 1995. Skredet har nådd stor hastighet før det kom inn i skogen. Erfaringsmessig virker skog lite dempende på skred i slike tilfeller. NAKSIN 4 med skog ser ut til å beregne noe stor effekt av skogen, og har dermed litt kort utløp her. Muligens inkluderer inntegnet skredareal noe effekt av snøsky, men utbredelsen er likevel noe knapp i NAKSIN med skog. NAKSIN 4 beregningen uten skog ser ut til å passe med observert utløp.



Figur 8-21: Utbredelse av Drevja-skredet, Vefsn i 1995 (NGI-rapport 581210-02) sammenlignet med aktsomhetssonene fra NAKSIN 4. Foto U. Domaas, NGI)

Bordvikfjellet, Vefsn

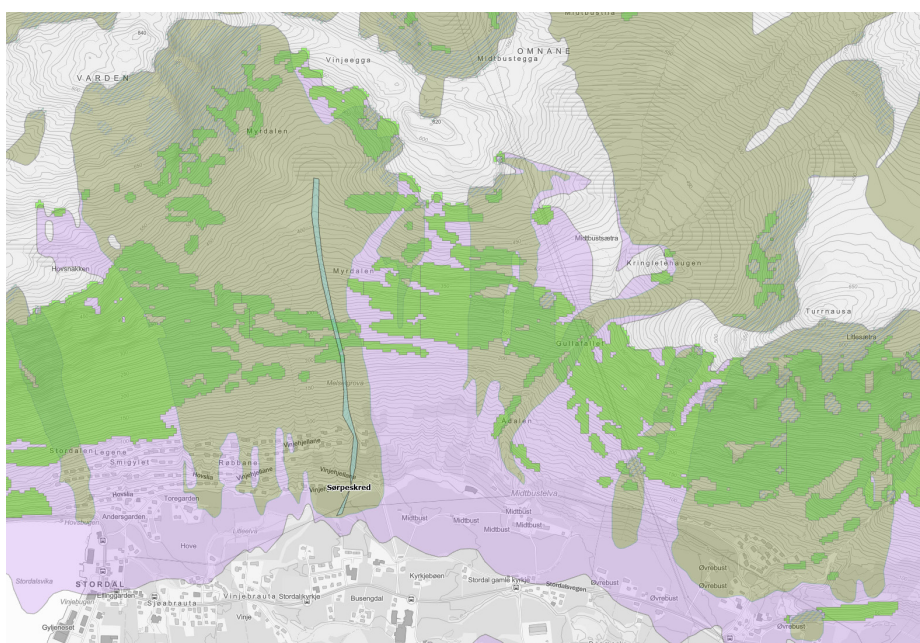
Tørt flaskred av liten størrelse gikk ut i litt slakere terreng før det nådde granskogen omtrent midtveis i skredbanen. Skredet ville gått vesentlig lengre ut om ikke skogen hadde bremsset skredmassene. NAKSIN 4 beregningene synes realistiske.



Figur 8-22: Tørt flaskred i 1995 som stoppet i granskog ovenfor vegen ved Navavatnet sørvest for Velfjord (foto U. Domaas, NGI).

Stordalen, Ørskog kommune

I Stordalen er det skog i fjellsidene som har stor effekt på beregnet utløp i aktsomhetskartet. Dette sees tydelig i Figur 8-23 hvor skogen stedvis fjerner snøskredproblemet helt og åpner opp for store områder kommunen kan benytte seg av uten ytterligere skredvurderinger. Figur 8-24 viser skogområdene på foto og hvor det ser ut til å være større områder som har betydning for skredutløpene enn det som er digitalt beregnet. Dette er som det skal være ettersom et aktsomhetskart skal være konservativt. For informasjon kan nevnes at det gamle aktsomhetskartet dekker hele dalbunnen i Stordal.



Figur 8-23: Skogområder i Stordal som har betydning for skredfaren i aktsomhetskartet (klar grønnfarge). NAKSIN 4 med og uten skog i hhv. grågrønn og fiolett.



Figur 8-24: Skråfoto over Stordalens skogbevokste nordside (ref. Geodata, Kartverket: <https://www.norgebilder.no/>).

9 Generelle resultater

En rekke endringer fra aktsomhetskartet fra 2010 (AK2010) til NAKSIN 4 med og uten skogseffekt gjør at aktsomhetsområdene i noen områder er redusert og i andre økt. For eksempel er utløsningsområder redusert i urbane områder, og i områder med mye tett skog i bratt terreng. I høyfjellsområder og områder med lave vintertemperaturer er utløpsdistansene mange steder utvidet, da de empiriske utløpsdistansene i AK2010 var basert på mer kystnære og lavereliggende skred, og underestimerte ekstreme utløpsdistanser i fjellet og mer kontinentale strøk. I andre områder er arealet av skredutløpet redusert, både på grunn av økt friksjon, men også på grunn av en mer fornuftig retning og grad av spredning av skredbanen.

Kartet fanger ikke opp skred som løsner i veldig småskala bratte terrengformasjoner i områder hvor terrenget generelt er slakt. Dette er stort sett uproblematisk for bruk i planlegging av bebyggelse og annen infrastruktur, men man bør være oppmerksom på dette for bruk av kartet i friluftslivssammenhenger. Varsom har egen "kartapp" som er mer egnet til løypevalg for skikjøring i bratt terreng.

I de følgende avsnittene gis en nærmere beskrivelse av hvilke utslag disse endringene gir på det totale arealet dekket av aktsomhetssoner, samt på antall bygg berørt av aktsomhetssoner.

9.1 Arealmessig utbredelse av gamle og nye aktsomhetssoner

Totalt areal av aktsomhetssoner i NAKSIN 4 med og uten skog er sammenlignet med AK2010. I dette kartet, som har utløpslengder basert på alfa-beta modellen, er aktsomhetssonene klippet mot hav og innsjøer. I aktsomhetskartene som er produsert med NAKSIN 4 har man valgt å beholde utløpene på vann og havflater. For arealmessig sammenligning har vi imidlertid klippet alle kart mot N250-kyst (1:250 000) og FKB vann for å gjøre kartene sammenlignbare. "Totalt areal" i Tabell 9-1 er imidlertid tall basert aktsomhetskartene (uklippet), som da inkluderer vann og innsjøer.

Totalt areal dekket av aktsomhetssoner for de tre kartene NAKSIN 4 uten skogseffekt (NF), NAKSIN 4 med skogseffekt (WF) og aktsomhetskart gjeldende fra 2010 (AK2010) er presentert i Tabell 9-1. Totalt areal dekket av aktsomhetssoner er sammenlignbart mellom AK2010 og NAKSIN 4 med skog, med ~2500 km² mindre areal på landsbasis i NAKSIN 4 med skog. Den største reduksjonen i areal er i Vestfold og Telemark, og deretter i Viken, Trøndelag og Rogaland. I motsatt ende ser vi en økning i areal i Nordland og Troms og Finnmark fylker.

I NAKSIN 4 uten skog ser vi en arealmessig økning i alle fylker sammenlignet med AK2010, med størst økning i Vestland, Nordland, Troms og Finnmark og Trøndelag fylker.

Tabell 9-1: Areal (km²) dekket av aktsomhetssoner i det nye aktsomhetskartet for snøskred, (1) med (WF) og (2) uten skog (NF), og (3) innenfor gjeldende aktsomhetskart fra 2010 (AK2010).

Fylke	Areal	NAKSIN NF	%	NAKSIN WF	%	AK2010	%
Agder	16434	2717	16.5	1658	10.1	1928	11.7
Innlandet	52072	4683	9.0	3500	6.7	3885	7.5
Møre og Romsdal	14355	7729	53.8	6916	48.2	7184	50.0
Nordland	38154	13552	35.5	12634	33.1	11633	30.5
Oslo	454	21	4.6	1	0.2	11	2.4
Rogaland	9377	2640	28.2	2027	21.6	2457	26.2
Troms og Finnmark	74829	13450	18.0	12960	17.3	11781	15.7
Trøndelag	42201	4718	11.2	3051	7.2	3515	8.3
Vestfold og Telemark	17465	3231	18.5	1767	10.1	2428	13.9
Vestland	33870	14732	43.5	12996	38.4	12696	37.5
Viken	24592	1894	7.7	965	3.9	1422	5.8
Totalt	323803	69367	21.4	58475	18.1	60950	18.8

9.2 Antall bygg innenfor gamle og nye aktsomhetssoner

Antall bygninger innenfor sikkerhetsklasse S2 eller høyere som er berørt av aktsomhetssoner i de ulike aktsomhetskartene er presentert i Tabell 9-2. Antall berørte bygg i AK2010 er lignende antall berørte bygg i NAKSIN 4 uten skogseffekt, dvs. 11.4%. Selv om totalantallet er likt, er fordelingen på fylker ulikt fra AK2010 til NAKSIN 4 uten skogseffekt: det er en vesentlig reduksjon i berørte bygg i Vestland fylke, men også stor reduksjon i Rogaland og Møre og Romsdal fylker. På den andre siden er det en økning i berørte bygg i alle andre fylker (unntatt Oslo), størst i Troms og Finnmark og Nordland fylker.

NAKSIN 4 med skogseffekt gir mer enn halvering av antall berørte bygg i Norge (Tabell 9-2), med kun 5.4% av alle bygg berørt av aktsomhetssoner. Dette er en reduksjon på 160 000 berørte bygg. Den største reduksjonen er i Vestland og Møre og Romsdal fylker, med en reduksjon på henholdsvis ~53 000 og ~22 000 bygg. Innlandet har en reduksjon på ~15 000 bygg, mens Rogaland, Trøndelag, Vestfold og Telemark og Viken alle har en reduksjon på rundt 12 000 bygg per fylke.

Tabell 9-2: Antall bygg (S2 eller S3) fordelt på fylker innenfor det nye aktsomhetskaret for snøskred, (1) med og (2) uten skog, og (3) innenfor gjeldende aktsomhetskart fra 2010 (AK2010).

Fylke	Antall bygg	NAKSIN NF	%	NAKSIN WF	%	AK2010	%
Agder	177 998	18 460	10.4	6 957	3.9	16 829	9.5
Innlandet	376 309	24 774	6.6	7 816	2.1	22 715	6.0
Møre og Romsdal	153 178	42 022	27.4	21 319	13.9	43 008	28.1
Nordland	159 156	24 725	15.5	14 649	9.2	22 048	13.9
Oslo	81 850	376	0.5	40	0.0	380	0.5
Rogaland	201 697	13 262	6.6	5 446	2.7	17 214	8.5
Troms og Finnmark	143 002	25 346	17.7	18 693	13.1	21 768	15.2
Trøndelag	270 722	19 084	7.0	5 630	2.1	17 454	6.4
Vestfold og Telemark	235 908	20 694	8.8	6 643	2.8	18 553	7.9
Vestland	326 001	95 729	29.4	51 245	15.7	104 449	32.0
Viken	542 218	20 152	3.7	5 909	1.1	18 003	3.3
Totalt	2 668 039	304 624	11.4	144 347	5.4	302 421	11.3

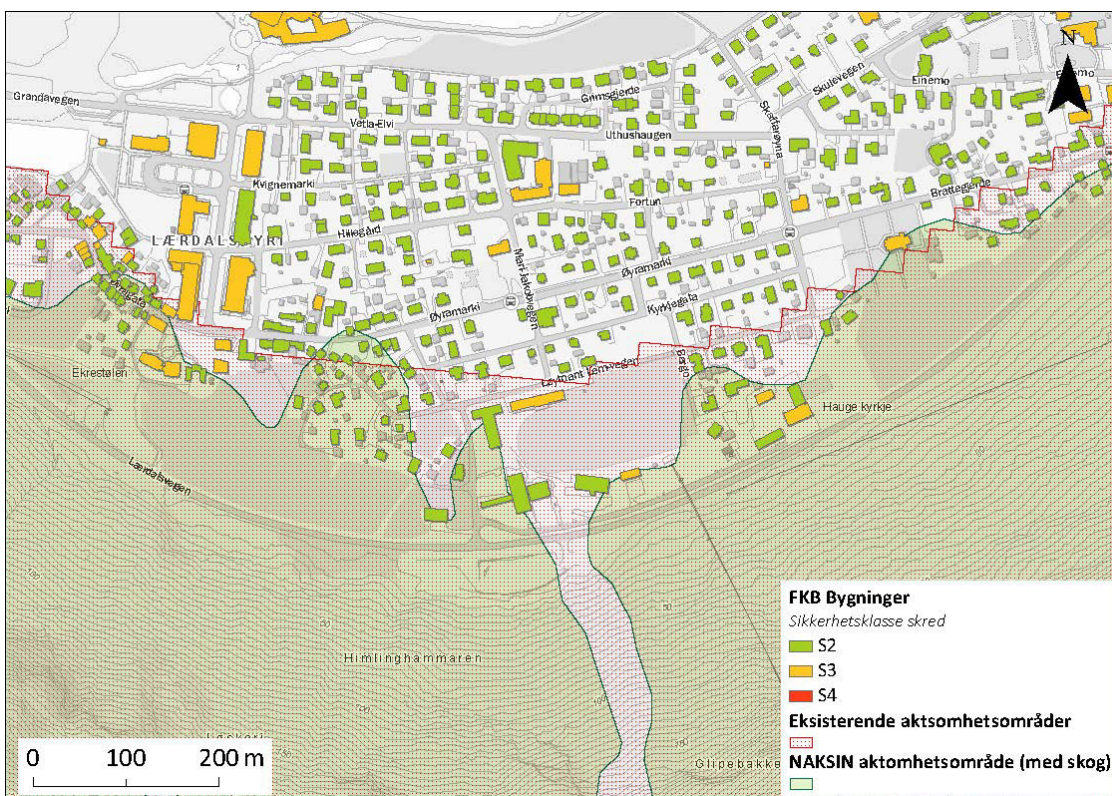
For bygg i sikkerhetsklasse S3 er forskjellen mellom noe større; 9.3% av alle S3-bygg ligger innenfor AK2010, 8.5% ligger innenfor NAKSIN 4 uten skogseffekt, mens kun 3.3% ligger innenfor NAKSIN 4 med skogseffekt (Tabell 9-3). Det er totalt 133 932 S3-bygg i Norge, og alle bygg som ligger delvis innenfor en faresone er talt med i statistikken. Tallene er noe lavere om man kun teller bygg som ligger fullstendig innenfor faresonene.

Tabell 9-3: Antall S3-bygg fordelt på fylker innenfor det nye aktsomhetskaret for snøskred, (1) med og (2) uten skog, og (3) innenfor gjeldende aktsomhetskart fra 2010 (AK2010).

Fylke	Antall bygg	NAKSIN NF	%	NAKSIN WF	%	AK2010	%
Agder	7929	583	7.4	183	2.3	570	7.2
Innlandet	11983	564	4.7	137	1.1	554	4.6
Møre og Romsdal	7588	1452	19.1	708	9.3	1560	20.6
Nordland	7341	784	10.7	444	6.0	712	9.7
Oslo	16350	84	0.5	13	0.1	100	0.6
Rogaland	10199	413	4.0	163	1.6	540	5.3
Troms og Finnmark	7395	952	12.9	670	9.1	739	10.0
Trøndelag	13751	487	3.5	121	0.9	541	3.9
Vestfold og Telemark	10747	635	5.9	195	1.8	585	5.4
Vestland	17899	4830	27.0	1746	9.8	6012	33.6
Viken	23301	655	2.8	119	0.5	593	2.5
Totalt	134483	11439	8.5	4499	3.3	12506	9.3

Antall hus S2+ som ikke er i gamle aktsomhetsområder, men berører NAKSIN 4 uten skogseffekt: 62 276 (motsatt: 60 073). Antall hus S2+ som ikke er i gamle aktsomhetsområder, men berører NAKSIN 4 med skogseffekt: 18 716 (motsatt: 176 790).

Eksempler på områder med større forskjell er gjennomgått. Figur 9-1 viser ett eksempel på hvordan den arealmessige utbredelsen kan påvirker ulike bygg i AK2010 (rød skravur) og NAKSIN 4 med skog (grønn farge), her fra Lærdal. For dette eksempelet er ikke snøskred dominerende faretype, og reell 1/1000 års sone ligger trolig høyere opp enn begge kartene.



Figur 9-1: Lærdal: Bygninger fordelt på bygningsklasser innenfor AK2010 og NAKSIN med skog.

10 Behov for utvikling

Avgrensning og størrelse på utløsningsområde: Modellen har svakheter i bestemmelse av utstrekning av utløsningsområder. Automatisert utvelgelse av utløsningsområder som også er konservativ nok til å ikke utelukke områder som burde være med er krevende. Erfaring viser at utløsningsområdet for et snøskred oftest bare utgjør en brøkdel av det potensielle utløsningsområdet, denne brøkdelen øker med returperiode (Maggioni og Gruber, 2003). Å inkludere denne effekten er avgjørende for returperioder mindre enn ca. 300–1000 år.

For skred med returperiode 1000 år, som brukes i det nye aktsomhetskartet, er det i de fleste tilfellene realistisk å anta at det aktuelle utløsningsområdet sammenfaller med det størst mulige. Enkelte eksempler som Engesetfonna 1979 i Ørsta tyder på at den automatiske oppdelingen av PRAs større enn 200 000 m² kan gi for korte utløp i meget store skredløp.

Utvidet skogeffekt: Foruten den direkte mekaniske motstanden på grunn av trestammer, påvirker skoger snømetamorfose og dannelse av svake lag på en kompleks måte gjennom snøavskjæring av kronene, høyere temperatur og reduserte kortbølgede stråling og vindhastigheter (f.eks. Gubler og Rychetnik, 1991). Slike effekter er tatt med i NAKSIN 4 gjennom empiriske faktorer funnet i litteraturen og kort beskrevet i kap. 3. Det er imidlertid ofte vanskelig å bedømme hvor vidt disse tilnærmingene er brukbare i andre klimasoner og hvor godt datagrunnlaget til disse empiriske funksjonene er. Det trengs trolig et forskningsprogram med flerårige målinger i ulike klimasoner for å kunne forbedre beskrivelsen av skogens effekt på utløsnings sannsynlighet og bruddhøyde (Gauer, 2016).

Snøsky: Modellen tar ikke hensyn til snøskyen til skredet. For en del store skred kan snøskyen ha vesentlig rekkevidde utenfor de faste skredmassene, og er avgjørende for å bestemme utbredelse av faresonene.

Vindeffekt: Snødrift påvirker i stor grad både utløsnings sannsynlighet og bruddhøyde gjennom høyde på gammelt snødekke (HS), nysnømengde, og skjærstyrken i det svake laget. Disse effektene er ikke inkludert i modellen, og dette gjør at bruddhøydene i deler av landet, særlig i kontinentale strøk, er noe underestimert, mens det motsatte kan være tilfelle i områder som er lite påvirket av snødrift.

Klimaeffekter: En forbedret parametersetting av klimadata, høydeinterpolasjon, samt bruk av ekstremverdifordelinger vil kunne forbedre resultatene, både for utløsnings sannsynlighet og estimert bruddhøyde.

Videreutvikling av Python-kode: Det er oppdaget enkelte mindre feil/bugs i koden i etterkant av kjøring. Disse er kontrollert å ikke ha vesentlig innvirkning på resultatet, og modellen er kalibrert med disse manglene og ev. andre ukjente feil. Resultatene er videre validert for en lang rekke områder i hele Norge, og funnet å i all hovedsak gi et godt bilde av områder som kan være utsatt for snøskredfare.

11 Referanser

Bebi, P., Bast, A., Helzel, K., Schmucki, G., Brozova, N., & Bühler, Y. (2022). Avalanche Protection Forest: From Process Knowledge to Interactive Maps. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.99514

Christen, M.; Kowalski, J. & Bartelt, P., (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology* 63, 1–14. DOI: 10.1016/j.coldregions.2010.04.005.

Derron, MH., Sletten, K. (2016): Method for the susceptibility mapping of snow avalanches in Norway, Technical report. Derron & Sletten. NGU-report no. 2016.032. ISSN: 2387-3515 (online).

Frauenfelder, R. Jónsson, Á., Lied, K., Schwerdtfeger, D. Bergum, G., Bühler, Y., Stoffel, L. (2014). Analysis of an artificially triggered avalanche at the Nepheline Syenite mine on Stjernøya, Alta, Northern Norway. Proceedings, International Snow Science Workshop, Banff. URL <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/item/2134>.

Gauer, P. (2016). Forest cover within Nye aktsomhetskart snøskred i Norge (NAKSIN). NGI Technical Note 20150457-04-TN, Norges Geotekniske Institutt, Oslo, Norway.

Gauer, P. (2018). Avalanche probability: slab release and the effect of forest cover. In: Proceedings of the Intl. Snow Science Workshop Innsbruck 2018, pp.76–83. International Snow Science Workshop. URL http://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW2018_P01.13.pdf.

Geonorge, kartbladinddelinger WMS (2022): <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartbladinddelinger-wms/948b4251-f84b-4073-8aa1-92ca3be2005b>.

Gubler, H. & Rychetnik, J. (1991). Effects of forests near timberline on avalanche formation. In: Bergmann, H., Lang, H., Frey, W., Issler, D. & Salm, B. (eds.), *Snow, Hydrology and Forests in High Alpine Areas (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1991)*, IAHS Publ. no. 205, pp. 19–38. IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, UK.

Horn, B. K. (1981). Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 69(1), 14-47.

Issler, D., Gislås K.G., Domaas U (2020): Approaches to Including Climate and Forest Effects in Avalanche Hazard Indication Maps in Norway. NGI Technical Note 20150457-10-TN, Norges Geotekniske Institutt, Oslo, Norway.

Issler, D. (under utarbeidelse). MoT-Voellmy – an efficient tool for avalanche hazard mapping.

Jamieson, B., & Johnston, C. D. (2001). Evaluation of the shear frame test for weak snowpack layers. *Annals of Glaciology*, 32, 59-69. DOI 10.3189/172756401781819472.

Lussana, C., O.E.Tveito, O. E. & Uboldi, F. (2018). Three-dimensional spatial interpolation of 2 m temperature over Norway. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 144, 344–364. DOI: 10.1002/qj.3208.

Maggioni, M. & Gruber, U. (2003). The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Sci. Technol.* 37, 407–419. doi:10.1016/S0165-232X(03)00080-6.

NDH (2022): <https://www.kartverket.no/geodataarbeid/nasjonal-detaljert-hoydemodell>.

NGI (2016). Forbedring av aktsomhetskart snøskred – sammendrag av resultater. NGI rapport 20150457-01-R.

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

Perzl, F., Bono, A., Garbarino, M., & Motta, R. (2022). Protective Effects of Forests against Gravitational Natural Hazards. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.99506

Richter, B., Schweizer, J., Rotach, M. W., and van Herwijnen, A. Modeling spatially distributed snow instability at a regional scale using Alpine3D (2021). *Journal of Glaciology*, Vol. 67, No.266 Cambridge University Press (CUP) p. 1147-1162.

Rudolf-Miklau, F., Sauer Moser, S. & Mears, A. I. (utgivere) (2015). The Technical Avalanche Protection Handbook. Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG. Print ISBN: 9783433030349, online ISBN: 9783433603840, DOI:10.1002/9783433603840.

Saloranta, T. M. (2016). Operational snow mapping with simplified data assimilation using the seNorge snow model. *Journal of Hydrology* 538, 314–325. DOI 10.1016/j.jhydrol.2016.03.061.

Sandersen, F. (1994). Snøskredulykkene ved Bleie og Kvamskogen. Årsaker og erfaringer. Snøskredkonferansen 1994.1 s 40-47. Otta: Engers Boktrykkeri.

seNorge. <https://www.senorge.no/Models>.

SLF (2017). RAMMS::AVALANCHE User Manual v.1.7.0. WSL Institutt for snø- og snøskredforskning SLF, Davos, Sveits. URL https://ramms.slf.ch/fileadmin/user_upload/WSL/Microsite/RAMMS/Downloads/RAMMS_AVAL_Manual.pdf.

Statens kartverk (2022). <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/dtm-10-terrengmodell-utm33/dddbb667-1303-4ac5-8640-7ec04c0e3918>

Zevenbergen, L.W. and Thorne, C.R. (1987) Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 47-56. DOI 10.1002/esp.3290120107.

Vedlegg A

OVERSIKT KVALITATIV VALIDERING AV NAKSIN4

Innhold

A1	Oversikt over validerte områder – kvalitativ validering	2
-----------	--	----------

A1 Oversikt over validerte områder – kvalitativ validering

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
2136-4 Honningsvåg		X	Faresoner/ skredhendelser	Skredhendelser - Faresoner OK/lengre rekkevidde enn AK2010.	U.D
2236-4 Kjøllefjord		X	Skredhendelser	Skredhendelser ok/ lengre rekkevidde enn AK2010 og flere områder er med	U.D
1936-3 Rypefjord, Hammerfest		X	Faresoner	Faresoner ok/kortere og stedvis lengre rekkevidde enn AK2010	U.D
1936-3 Hammerfest		X	Faresoner, skredhendelse,	Faresoner skredhendelse ok/lengre rekkevidde enn AK2010	U.D
1736-2 Sjørvær		X	Skredhendelser	Skredhendeler ok. Noe lengre rekkevidde enn AK2010	U.D
1734-3 Reisadalen, Haugset, Reisadalen	X	X	Skredhendelse / befaring	OK. NAKSIN m/skog går lengre enn skred som tok vesentlig skog i 2023. Skredfrekvens for observert skred er antatt 50-100 år. Et noe mindre skred gikk samme sted i 1968.	K.G.
1734-3 Reisadalen, Samueldalen, Kildalen	X	X	Skredhendelse / befaring	Ok. NAKSIN m/skog går vesentlig lengre enn skred ovenfor bebyggelse som tok vesentlig skog i 2023. Skredfrekvens for observert skred er mulig <1/100. Ok eller noe konservativ utløpslengde.	K.G.
1734-3 Reisadalen, Skredbakken, Kildalen	X	X	Skredhendelse / befaring	Ok, litt kort. NAKSIN m/skog går så vidt lengre enn skred som tok vesentlig skog på skredbakken i 2023. Et noe mindre skred gikk samme sted i 1986. Skredfrekvens for observert skred er antatt å være 50-100 år. Utløp i NAKSIN m/skog er noe kort for 1/1000, sannsynligvis pga for lavt utløsningsvolum ved deilng av utløsningsområdet.	K.G.
1835-4 Stjernøya,		X	skredhendelse 2014,2018	Skredhendelser ok, også fra nedsprenning av skred, skredmasser og snøsky ut på sjøen	U.D
1635-2 Arnøyhamn		X	mange skredhendelser	Skredhendelser ok, rekkevidde nær likt med AK2010. Skred lengre enn 1/1000 faresone	U.D
1635-2, Skjervøy	X	X	Faresoner	rekkevidde m/u skog langt forbi faresoner og AK2010, mangler et område: bratt skrent og skog	U.D
1634-3 Lyngen, Kjosén	X	X	Skredhendelser	Ok utløp m/skog. Noe sjeldne skred har gått til vannet ved flere lokasjoner. NAKSIN går stort sett over hele fjordbunn.	K.G.

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
1633-4 Storfjord, Furuflaten	X	X	Skredhendelser	Ok. Utløp, m/skog har samme lengde som AK2010 i utsatt fjellside, frigjør areal nede på flaten - ok. Lengre enn eldre skredlengder med ca 1/100 års returperiode. Noe kort for effekt av skredvind.	K.G.
1534-4 Futrikelv	X	X	Faresoner, skredhendelser	Skredhendelser ok, rekkevidde m/u skog litt forbi faresoner og AK2010, m/u skog samme utløp	U.D
1534-1, Oldervik	X	X	Skredhendelser	Skredhendelser ok. Likt med aktsomhetskartet	U.D
1534-2, Breivikeidet		X	skredhendelser	skredhendelser ok med skog, uten skog litt lengre og likt med aktsomhetskart	U.D
1534-2, Vangen, Breivikeidvegen	X	X	skredhendelse m/skredvind	Ok med rekkevidde fast skredsnø, skredvind går lengre. Ekstremskred, aktsomhetskart for kort. m/skog litt kortere	U.D
1534-3, Tromsdalstind		X	Skredhendelser	Skredhendelse litt lengre ut men trolig noe effekt av skredvind. m/u skog samme rekkevidde	U.D
1534-3, Tromsdalen	X	X	skredhendelser	Skredhendelser ok, uten skog som aktsomhetskart, med skog kortere, men dekker fortsatt hendelser	U.D
1434-2, Kattfjordeidet		X	Skredhendelser	Skredhendelser ok, men lengre ut enn aktsomhetskartet	U.D
1434-3, Fjordgård		X	Skredhendelser, faresoner	Skredhendelser ok, faresoner lengre ut sideveis enn NAKSIN, AK2010 ok mht faresoner	U.D
1434-3, Husøy		X	Skredhendelser, faresoner	Skredhendelser ok, faresoner stedvis lengre ut enn NAKSIN og AK2010	U.D
1232-3, Sigerfjord	X	X	Skredhendelser	Skredhendelser ok, men 1956 skredet lengre enn AK2010 og litt lenger ut enn NAKSIN	U.D
1432-3, Vassdalen	X	X	Skredhendelser	Skredhendelser ok, med skog kortere enn AK2010, uten skog lengre ut	U.D
1432-3, Bjerkvik	X	X	Skredhendelse	Skredhendelse tegnet for kort, krysset veggen i 1986.	U.D
1031-2, Flakstad		X	Skredhendelser, faresoner	Skredhendelser ok, faresoner innenfor uttatt ett sted, skred går i sjøen	U.D
1830-1, Tind, Sørvågen		X	Skredhendelse	Skredhendelse ok, nær likt med AK2010	U.D
2129-4, Sørfold, Fauske	X	X	Gammel faresone	Stedvis stor effekt av skog også i forhold til AK2010	U.D
1826-1, Mosjøen	X	X	Skredhendelse r	Naksin uten skog passer relativt godt med hendelsen med skredvind, faresonene gjelder også skredvind i sentrum	U.D

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
1927-3, Drevja	X	X	Skredhendelse i skog	Naksin litt kort uten skog og for kort med skog, AK2010 dekker hendelsen. Stort snøskred tok all skog og krysset elva.	U.D
1825-4, Gaukheidalen, Velfjord	X		Skredhendelser	2 skredhendelser tok ut skog. Skredhendelser ok. Delvis likt og stedvis kortere og lengre enn AK2010	U.D
1723-4, Namsos	X			Skogen har stor betydning på utløpsareal	U.D
1522-1, 1622-4, Åfjord	X		Skredhendelser P=1/10-1/30	Skred går ned i skog og stopper i skogen, sjeldne skredhendelser er ukjent.	U.D
1420-4, Viromdalen	X	X	Skredhendelser	Dekker det meste at hendelsene ved utløp med skog	U.D
1420-3, Øksendal, Sunndalsøra	X	X	Skredhendelser	Dekker det meste at hendelsene ved utløp med skog	U.D
1320-2, Eikesdalsvatnet	X		skredhendelser	Dekker det meste at hendelsene ved utløp med skog	U.D
1320-2, Romsdal, nedre del		X	skredhendelser	Dekker det meste at hendelsene ved utløp uten skog, overdriver betydningen av skog	U.D
1218-1, Prestmarka, Nordfjordeid	X	X	Faresoner	NAKSIN lengre enn aktsomhetskartet, m/skog mye kortere	U.D
1119-2, Ørsta sentrum	X	X	Skredhendelser, faresoner	Stort sett lengre enn hendelser også NAKSIN med skog. Kortere enn S3 i faresoner.	U.D
1119-2, Melsvegen, Ørsta sør	X		Skredhendelser, faresoner	Stemmer med faresoner S3, lengre enn skredhendelser	U.D
119-2, 1219-3, Brungot-Follestaddalen	X		Skredhendelser, faresoner	NAKSIN m/skog stemmer rimelig bra med faresoner S3, lengre ut enn skredhendelser	U.D
1219-3, Follestaddaen	X	X	Skredhendelser, faresoner	NAKSIN u/skog stemmer rimelig bra med faresoner S3, lengre ut enn de fleste skredhendelser (noe skredvind?)	U.D
1219-4, Store-Standal	X	X	Skredhendelse	NAKSIN u/skog stemmer med utløp skredvind- historisk, m/skog og for hendelser og fast skredsnø	U.D
1219-1, Sjøholt sentrum	X			NAKSIN m/skog reduserer AK2010 vesentlig, skog i hele fjellsiden, trolig lite skredaktivitet her	U.D
1220-3, Brattvåg sentrum	X		Faresoner	Stort sett skogbevokst fjellside.	U.D

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
1119-2, Sulafjellet vest	X		Skredområder på kart	NAKSIN m/skog fanger skredområdene godt med lengre utløp	U.D
1319-3, Tafjord	X	X		NAKSIN u/skog følger AK2010 ok, m/skog blir mye av bebyggelsen utenfor fareområder	U.D
1319-3++, Norddal	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog følger fareområdene relativt bra, u/skog er hele dalen utrygg som AK2010	U.D
Hellesylt-Frøyså	X		Skredhendelser	NAKSIN m/skog favner de fleste snøskredområdene, noen med skredvind går lengre ut. u/skog favner bedre skredvind	U.D
1219-3, Bjørke	X		Skredhendelser	NAKSIN m/skog favner de fleste snøskredområdene	U.D
1219-2, 1319-3, Geiranger	X		Skredhendelser	NAKSIN m/skog favner de fleste snøskredområdene, også de fleste med skredvind	U.D
1418-4, Hjelle, Stryn	X		Skredhendelser	NAKSIN m/skog favner de fleste snøskredområdene	U.D
1518-1, Bismo-Nordberg	X	X	Skredhendelser	NAKSIN u/skog favner de fleste snøskredområdene, m/skog går litt kort	U.D
1518-1, Åmillom-Kvamme, Lom	X		Skredhendelse	NAKSIN m/skog favner hele skredhendelsen	U.D
1318-1, Olden	X		Skredhendelser	NAKSIN m/skog favner de fleste snøskredområdene	U.D
1318-4, 1219-3, Lødemel, Hornindal	X		Skredhendelser	NAKSIN m/skog favner de fleste snøskredområdene	U.D
1318-1, Ned-Stryn	X		Skredhendelser, faresoner	NAKSIN m/skog favner de fleste snøskredområdene, men litt lengre og kortere enn faresonen for S3	U.D
1119-3, Stadlandet	X	X	Skredhendelser	NAKSIN m&u/skog favner snøskredområdene	U.D
1418-3, Mo-Ormberg, Jostedalen	X	X	Skredhendelser	NAKSIN m&u/skog litt kortere enn snøskredområdene og faresonene. Kan være skredvind	U.D
1417-4, Gaupne	X		Faresoner	NAKSIN m/skog favner det meste av faresonene for S3.	U.D
1517-3, Kvenshagen, Lærdal	X		Faresoner, skredhendelser	NAKSIN m/skog favner alle hendelser og når lengre enn faresonene for S3.	U.D
1517-1, Tyin		X	Skredhendelse	NAKSIN u/skog favner godt snøskredområdene	U.D
1517-1, Eidsbugarden		X	Skredhendelse	NAKSIN u/skog favner nesten hele snøskredområdet, lengste utløp kan ha vært skredsky	U.D

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
1619-3, Tron, Alvdal, vstside		X		NAKSIN u/skog viser mer nyansert utløp enn AK2010, både korte og lengre utløp	U.D
1818-4, Bjørnhollia, Rondane		X		NAKSIN u/skog viser mer nyansert utløp enn AK2010, både korte og lengre utløp	U.D
1718-4, Sel, Otta	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010, samme gjelder for u/skog (ikke vist)	U.D
1718-2, Kvam, Vinstra	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010, samme gjelder for u/skog (ikke vist)	U.D
1818-3, Frya, Ringebu	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010, samme gjelder for u/skog (ikke vist)	U.D
1817-4, Fåvang	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010, samme gjelder for u/skog (ikke vist)	U.D
1918-4, Bergset, Hanestad	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010, samme gjelder for u/skog (ikke vist)	U.D
1716-4, Fagernes	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010, samme gjelder for u/skog (ikke vist)	U.D
1416-2, Finse		X		NAKSIN u/skog viser større utløpsområder og vesentlig lengre utløp enn AK2010	U.D
1317-3, Balestrand	X			NAKSIN m/skog viser stedvis kortere og mer nyansert utløp enn AK2010	U.D
1215-1, Norheimsund	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010, u/skog både lengre og kortere utløp (ikke vist)	U.D
1415-4, Eidfjord	X	X		NAKSIN u/skog relativt overensstemmende med AK2010, m/skog stedvis noe kortere	U.D
1414-4, Middy, Haukeli		X	Skredhendelse	NAKSIN uten skog går lengre ut enn AK2010 og dekker bedre skredhendelsene.	U.D
1414-1, Vågsli	X	X	Skredhendelse	NAKSIN m/u skog går lengre ut enn AK2010 og dekker bedre skredhendelsene.	U.D
1513-4, Dalen	X			NAKSIN m/skog viser stedvis vesentlig kortere utløp enn AK2010	U.D
1613-4, Seljord	X			NAKSIN m/skog viser vesentlig kortere utløp enn AK2010	U.D
1714-3, Notodden	X			NAKSIN m/skog viser vesentlig kortere utløp enn AK2010	U.D
1313-2, Lysebotn	X	X		NAKSIN m/u skog går stedvis kortere ut enn AK2010 og er mer nyansert.	U.D

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
1314-3, Sauda	X	X		NAKSIN m/skog viser vesentlig kortere utløp enn AK2010	U.D
1215-3, Eikelandsosen sør	X	X	Faresoner	NAKSIN u/skog er som AK2010, m/skog går de fleste områdene ut. Små faresoner	U.D
1215-4, Indre Arna	X		Faresoner	NAKSIN u/skog er som AK2010, m/skog går de fleste områdene kortere, og for det meste lengre ut enn faresonene.	U.D
1215-3, Fusa	X	X	Faresoner	NAKSIN u/skog er som AK2010, m/skog går de fleste områdene kortere, men vesentlig lengre ut enn faresonene.	U.D
1216-2, Evanger	X	X	Faresoner	NAKSIN u/skog er som AK2010 men mer nyansert, m/skog går de fleste områdene kortere, men vesentlig lengre ut enn faresonene.	U.D
1216-4, Matre	X	X	Faresoner	NAKSIN u/skog går både lengre og kortere ut enn AK2010, m/skog går de fleste områdene kortere, men vesentlig lengre ut enn faresonene.	U.D
1216-4, Mo	X	X		Lite trygt både m/u skog og AK2010, urealistisk stor snøskredfare i området som er preget av steinsprangproblematikk	U.D
1315-1, Kinsarvik	X	X	Faresoner	NAKSIN litt kortere enn AK2010, men lengre ut enn faresonene	U.D
1317-2-3, Vik i Sogn	X	X	Faresoner	NAKSIN u/skog både lengre og kortere enn AK2010, m/skog vesentlig kortere utløp, men lengre ut enn faresonene	U.D
1117-4, Askvoll	X	X		NAKSIN mindre områder u/skog men stedvis lengre utløp enn AK2010, m/skog færre områder og kortere utløp	U.D
1520-3 Oppdal Skarvatnet, Oppdal	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker nært samtlige snøskredbaner, med utløp lenger enn 5000 års-sonene	A.T.
1520-3 Oppdal Oppdal sentrum	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker de fleste snøskredbaner, med utløp lenger enn 5000 års-sonene. Et par steder fanger NAKSIN ikke opp løsnemr. i det hele tatt	A.T.
1520-3 Oppdal Storlidalen, Oppdal	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker i praksis samtlige snøskredbaner, med utløp lenger enn 5000 års-sonene	A.T.
1519-4 Snøhetta Engan, Drivdalen	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker i praksis samtlige snøskredbaner, med utløp lenger enn 5000 års-sonene	A.T.
1319-1 Rauma: Mellom Monge-Alnes	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker godt på Ø-siden, men altfor lite på V-siden av dalen. Blir bare litt bedre i NAKSIN u/skog	A.T.

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
1320-2 Eresfjord: Mjelva og Halså, Rauma	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog går for kort ift. faresonene der disse er dimensjonert av skredvind. Blir litt bedre dekning i NAKSIN u/skog	A.T.
1420-2 Romfo og 1420-3 Sundalsøra: Sunndalsøra inkl. Sunndalen	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000års-soner, men for kort ift. 1000 år der de er dimensjonert av skredvind. Litt bedre dekning der i NAKSIN u/skog	A.T.
1219-4 Sykkulven, Velledalen	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000års-soner, faktisk også der de er dimensjonert av skredvind (trolig pga. relativt smal dal).	A.T.
1516-3 Hallingskarvet Strandavatnet, Hol	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000års-soner	A.T.
1516-2 Geilo, vest	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000års-soner. 3 - 4 små snøskredbaner fra veldig lokale løsneomr. blir ikke fanget opp, heller ikke u/skog	A.T.
1614-4 Rjukan, Tinn	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000års-soner, faktisk også ved Svadde der de er dimensjonert av skredvind (pga. relativt smal dal).	A.T.
1635-2 Arnøya, Arnøyhamn, Skjervøy	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000års-soner	A.T.
1835-3 Øksfjord: Langfjorden, Skjervøy	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker alle 5000 år-soner	A.T.
1635-2 Arnøya, Langnes, Laukøya Skjervøy	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker alle 5000 år-soner	A.T.
1431-4 Narvik, Beisfjorden, Narvik	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000 år-soner	A.T.
2136-4 Honningsvåg	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000 år-soner. Enkelte små baner/løsneområder (Nordvågen) fanges ikke opp i det hele tatt, heller ei u/skog	A.T.
1533-2 Tamokdalen, Balsfjord	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker så å si alle 5000 år-soner	A.T.
1633-1 Manndalen, Kåfjord	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker alle 1000 år soner og nesten alle 5000års-soner	A.T.

Lokasjon	m/ skog	u/ skog	Grunnlag	Kommentar	Sign
1634-3 Lyngen Nordnes, Kåfjord	X	X	Faresoner / Kjennskap	NAKSIN m/skog dekker alle 5000 års-soner	A.T.
1433-4 Mefjordbotn Bergsfjorden, Senja	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker de fleste 5000 års-soner. Noen små, lokale baner/løsneomr. fanges ikke opp i det hele tatt, men dekkes helt av NAKSIN u/skog	A.T.
1333-1 Gryllefjord Steinfjorden/Bukta, Senja	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker alle 5000 års-soner	A.T.
1433-4 Mefjordbotn Senjahopen, Senja	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker så å si alle 5000 års-soner	A.T.
1232-3 Sortland, Tausaneset	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker alle 1000 års soner og nesten alle 5000 års-soner	A.T.
1232-3 Sortland, Sigerfjord, Sortland	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker mesteparten av 1000 års soner, men lokalt litt for smale utløps-soner ift. faresonene. Litt bedre u/skog	A.T.
1031-2 Leksnes Ramberg, Flakstad	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker alle 5000års-soner	A.T.
1031-2 Leksnes Skjelfjorden, Flakstad	X	X	Faresoner	NAKSIN m/skog dekker alle 1000 års soner og nesten alle 5000 års-soner	A.T.

U.D.: Ulrik Domaas, NGI

K.G.: Kjersti Gisnås, NGI

A.T. : Andrea Taurisano, NVE

Vedlegg B

INITALISERINGSFIL

Innhold

B1	Eksempel på initialiseringsfil for NAKSIN	2
-----------	--	----------

B1 Eksempel på initialiseringsfil for NAKSIN

```

NAKSIN project information file format= 2019-01-25
File name= /data/N4NVE/prod2022/sim/11192_Volda/11192_1000y_1.rif
Encoding= UTF-8
Last changes (YYYY-MM-DD)= 2022-11-05
Avalanche experts= n4n
#
# Project file storage
Project folder= /data/N4NVE/prod2022/sim
Map data folder= 11192_Volda
Run folder= 1000y
#
# External data sources
EPSG code= 25833
DEM= ../11192_DEM.asc
Climate data folder= /data/NAKSIN_climate
Forest data folder= ..
Mapped area (shape file)= ../11192buf_HMA.shp
#
# Data format of hazard map
Output format= ESRI ASCII Grid
#
# Release area properties
Limit annual probability (1/y)= 0.001
Min. release angle (deg)= 28.0
Max. release angle (deg)= 60.0
Min. release area (m2)= 400
Max. release area (m2)= 200000
Max. release area altitude extent (m)= 9999
Max. release area curvature (1/m)= 0.0100
Max. release area extent ratio= 5
Default release probability (1/y)= 1.0
Default release depth (m)= 1.5
#
# Friction parameter calibration
Tiny avalanche volume (m3)= 5000
Small avalanche volume (m3)= 10000
Medium avalanche volume (m3)= 25000
Large avalanche volume (m3)= 60000
Low-temperature threshold (deg C)= -4.0
High-temperature threshold (deg C)= -2.0
Flat-slope curvature (1/m)= 0.0000
Open-slope curvature (1/m)= 0.0020
Channelized curvature (1/m)= 0.0100
Gully curvature (1/m)= 0.0500
#
# Parameters concerning the numerics
Comp. grid resolution (m)= 10.0
Min. timestep (s)= 0.0001
Max. timestep (s)= 0.5000
Min. deposit depth (m)= 0.10
Width of buffer zone (m)= 0.0
Max. simulation time (s)= 90.0
Number of Monte Carlo trials= 2500000
Forest= 2
Urban= 1
  
```

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title NAKSIN 4 – dokumentasjon		Dokumentnr./Document no. 20150457-02-R-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client NVE	Dato/Date 2023-05-15
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract NGI		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0 / 2023-11-10
Distribusjon/Distribution FRI: Kan distribueres av Dokumentsenteret ved henvendelser / FREE: Can be distributed by the Document Centre on request		
Emneord/Keywords NAKSIN, snøskred, aktsomhetskart		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge	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 re-view by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Interdisciplinary review by:
0	Originaldokument / UTKAST	2023-05-08 Kjersti Glsnås	2023-05-05 Ulrik Domaas	2023-11-10 Sylfest Glimsdal	

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 10. november 2023	Prosjektleder/Project Manager Sylfest Glimsdal
--	---------------------------------------	--

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: GeoMiljø – Offshore energi – Naturfare – GeoData og teknologi

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Geotechnics and Environment – Offshore energy – Natural Hazards – GeoData and Technology.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

