

Nr. 11/2021

Jord- og flomskred. Klimaanalyse for bruk i skredfarekartlegging

.....

Rapport fra FoU-prosjekt 40319-B802
NGI



NVE Ekstern rapport nr. 11/2021

Jord- og flomskred. Klimaanalyse for bruk i skredfarekartlegging : rapport frå FoU-prosjekt 40319-B802

Utgjeve av: Noregs vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Sunniva Skuset (NVE)

Forfattar: NGI v/Frode Sandersen

Forsidefoto: Bjørn Lytskjold/NVE

ISBN: 978-82-410-2139-8

ISSN: 2535-8235

Saksnummer: 202003669

Samandrag:

Prosjektet hadde som mål å undersøke om det finst betre grunnlag for å gjere klimaanalyse i samband med skredfarekartlegging. Hypotesen var at gjennom eit stadig tettare nettverk av nedbørsstasjonar med registrering av timesnedbør, og tilgang på radarbilete, kan det utviklast betre framtidig statistisk grunnlag for kritiske terskelverdiar for skredutløysing (intensitet/varigheit). Også med moglegheit for å analysere om det er skilnad mellom ulike regionar. Det er i dette studiet fokusert på nedbør (og snøsmelting), og ikkje jordfuktigheit eller topografiske eller andre lokale faktorar. Det er dermed knytt betydeleg usikkerheit til resultatane.

I 591 jord- og flaumskredhendingar er gjennomgått manuelt for å sikre tilstrekkeleg datakvalitet. Det er også henta tilhøyrande nedbør- og snøsmeltesdata og IVF-kurver. Det er gjort analysar av nedbørsmengder og varigheit forut for skredhendiane. NVE sit forslag til jordskredregionar er brukt for å studere regionale skilnader.

Ut i frå analysane er det laga figurar med:

- fordeling av kritisk varigheit innanfor dei ulike klimaregionar
- fordeling av tidspunkt for kvar skredhending angitt med årstid
- antall hendinger der snøsmelting er antatt å ha betydning for skredutløysinga
- kritisk nedbørmengd innanfor dei ulike klimaregionane

Basert på dette er det m.a. gitt nokre tilrådingar når det kjem til kva varigheit av nedbør ein bør sjå på i klimaanalysar, i ulike regionar. For heile landet er det 6-24 timarsnedbør ein bør sjå på i klimaanalyse, medan for Østlandet og Troms bør ein også sjå på kortare varigheit, ned mot 1-3 timar.

Det er ikkje funne tydlege skilnader på kritiske nedbørsverdiar mellom ulike regionar, men antek ein at skred skjer under ekstreme nedbørshendingar, relativt til landsdelen, kan verdiar MET brukar i farevarsel for regn/styrtregn brukast som indikasjonar på kritiske nedbørsverdiar.

Emneord: Jordskred, flaumskred, skredfareutgreiing, klimaanalyse, terskelverdi

Noregs vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Føreord

Både statleg forvaltning og kommunane er heilt avhengige av at skredfareutgreiingar gir godt nok grunnlag for å avgjere korleis ein skal disponere areal, under dette å avdekkje behovet for sikring. Store sprik i metodikk, og dermed konklusjonar som blir trekt, gir betydelege kostnader for samfunnet. Eins og god metodikk for identifisering av fareområder vil gi eit godt grunnlag for forvaltninga å ta avgjersler på, og dermed betre og tryggare arealutnytting.

Ein felles og oppdatert rettleiar for utgreiing av skredfare i bratt terreng vart lansert hausten 2020, og ein slik rettleiar vil hjelpe aktørane i bransjen til å levere gode og etterprøvbare produkt. FoU-arbeidet som vert presentert i denne rapporten gir konkrete anbefalingar på metodikk som brukast i skredfareutgreiing, og vil vere eit bidrag til å betre samfunnet si evne til å handtere desse skredtypene i framtidig skredfarekartlegging.

Å få konkrete anbefalingar om bruk av opent tilgjengeleg grunnlagsdata vil vere eit bidrag til å tette hol i dagens metodikk.

Denne rapporten presenterer resultat frå eit studie av korleis klimadata, som nedbørsvarigheit og -intensitet, betre kan nyttast i skredfareutgreiing, med fokus på eventuelle regionale skilnader. Arbeidet er utført av NGI.

Innhaldet i rapporten, under dette prinsipielle betraktningar, står for NGI si rekning.

Førde, juni 2021

Brigt Samdal
Direktør,
Skred- og vassdragsavdelingen

Lars Harald Blikra
Seksjonssjef,
Skred- og vassdragsavdelingen

Dokumentet sendast utan underskrift. Det er godkjend i samsvar med interne rutinar.



RAPPORT

Jord- og flomskred

KLIMAANALYSE FOR BRUK I
SKREDFAREKARTLEGGING

DOK.NR. 20200323-01-R
REV.NR. 0 / 2021-03-20

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentsiteteten 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: Jord- og flomskred
Dokumenttittel: Klimaanalyse for bruk i skredfarelegging
Dokumentnr.: 20200323-01-R
Dato: 2021-03-20
Rev.nr. / Rev.dato: 0 /

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NVE
Kontaktperson: Sunniva Skuset
Kontraktreferanse: FOU prosjekt 40319-B802

for NGI

Prosjektleder: Frode Sandersen
Utarbeidet av: Frode Sandersen, Kjersti Gisnås, Graham Gilbert og Luca Piciullo
Kontrollert av: Christian Jaedicke

Sammendrag

NGI har i 2020 gjennomført et FOU oppdrag for NVE med tittel:
Jordskred, flomskred og sørpeskred - Terskelverdier i klimaanalyse

Bakgrunnen for oppdraget var å komme med forslag til hvordan klimadata bedre kan benyttes som grunnlag i skredfarekartlegging.

Etter innledende møte med NVE ble det besluttet å utelate sørpeskred i prosjektet, men heller fokusere på flomskred og grunne jordskred. Utløsning av sørpeskred er i stor grad styrt av lokale topografiske forhold, samt snøpakkens oppbygging, og er ikke like direkte knyttet til nedbørintensitet og varighet, slik som flomskred og grunne jordskred. Større jordskred i dypere utglidninger og kvikkleireskred er ikke inkludert i studiet.

NGI har brukt jord- og flomskredhendelser fra NVEs skredhendelsesdatabase i analysen. Tre kategorier (skredtyper) ble brukt i analysen: 142 – flomskred, 144 – jordskred, og 145 – jordskred, uspesifisert. Kategori 140 – løsmasse er utelatt fordi den også inneholder skredhendelser i slake områder med marin leire.

Hendelser ble filtrert før videreanalysen. Hendelser tatt med i videre analyse har oppfylt tre krav:

1. Skjedde etter 01.01.2000 – for å reflektere dagens klimaforhold og fordi få stasjoner med 1-timers nedbør er tilgjengelig før året 2000,
2. Romlig usikkerhet +/- 1 km eller bedre, og
3. Tidsmessig usikkerhet +/- 1 dag eller bedre.

Til slutt ble 1591 hendelser tatt med videre i analysen – 477 flomskredhendelser (142), 1101 jordskredhendelser (144), og 13 jordskredhendelser, uspesifisert (145).

Analysen av nedbørsmengder og varighet er utført for de 1591 utvalgte jord- og flomskredhendelsene. For å verifisere kvaliteten av dataene er det hentet nedbørsverdier fra både operasjonelle MET-værstasjoner, griddede værdata fra SeNorge-datasettet og radardata (MET). Nedbørsmengder (mm) 3 dager før hendelsen er aggregert til følgende varigheter: 1t, 3t, 6t, 24t, 48t, 72t.

For å fordele hendelser inn i regioner for videre analyse har NGI brukt NVEs forslag til jordskredregioner. Både Nivå 2 og Nivå 3 (hhv. 5 og 12 regioner) er brukt i denne analysen.

Hendelsene er analysert kronologisk med en ID for hver hendelse fra eldst til nyest, og lagret i en database. For hver skredhendelse er følgende to figurer produsert:

1. Tidsserier av nedbørdata fra radar, SeNorge og nærmeste værstasjon. Angitt skredtidspunkt fra databasen er gitt i overskriften, og også markert med rød sirkel langs tids-aksen.

2. IVF-kurver fra grid-punkt og stasjonsdata der det er tilgjengelig er vist sammen med fordeling av nedbørsverdier på varighet fra de ulike datakildene.

Basert på en manuell kvalitetskontroll er:

- SeNorge-data fra 188 skred ekskludert, data fra 1247 skred er ok
- Værstasjonsdata fra 312 skred er ekskludert, 585 skred er ok
- Radar-data fra 311 skred ekskludert (men radardata er generelt sett ikke benyttet)
- 369 skred er identifisert som sammenfallende med snøsmelting
- Varighet er kontrollert og angitt for 1162 skred

Ut fra analysene har vi laget figurer med:

- Fordeling av kritisk varighet innenfor de ulike klimaregioner
- Fordeling av tidspunkt for hver skredhendelse angitt med årstid
- Angivelse av antall hendelser der snøsmelting er antatt å ha betydning for skredutløsningen.
- Angivelse av kritisk nedbørmengde innenfor de ulike klimaregionene.

Vi har i tillegg vurdert effekten av klimaendringer på faren for jord- og flomskred.

Innhold

1	Innledning	7
1.1	Hypotese	7
1.2	Målsetning	7
2	State of the art: terskelverdier for utløsning av jord- og flomskred	8
2.1	Internasjonalt	8
2.2	Nasjonalt	10
2.3	Jordskredvarslingen NVE	11
3	Datagrunnlag	12
3.1	Skreddatabase	12
3.2	Meteorologiske data	16
3.3	Jordfuktighet	16
4	Metodikk	16
4.1	Regioner benyttet i analysene	16
4.2	Meteorologisk analyse/statistikk	17
5	Resultater av meteorologisk analyse	22
5.1	Nedbørshendelser sammenlignet med IVF-kurver	22
5.1.6	Tidspunkt for skredhendelsene	31
6	Klimaendringer	33
7	Diskusjon	38
8	Anbefalinger	40
9	Referanser	42

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

NGI har i 2020 gjennomført et FoU prosjekt for NVE med tittel:
Jordskred, flomskred og sørpeskred - Terskelverdier i klimaanalyse

Bakgrunnen for prosjektet var å komme med forslag til hvordan klimadata bedre kan benyttes som grunnlag for vurdering av fare for jord- og flomskred.

Etter innledende møte med NVE ble det besluttet å utelate sørpeskred i prosjektet ettersom utløsning av sørpeskred er i stor grad styrt av lokale topografiske forhold, samt snøpakkens oppbygging, og er ikke like direkte knyttet til nedbørintensitet og varighet, slik som flomskred og grunne jordskred.

Jord- og flomskred kan være utløst av ulike hydrometeorologiske forhold, regn/styrtregn, snøsmelting og høy vannmetningsgrad i bakken – ofte i ulike kombinasjoner. I denne studien har vi fokusert på hendelser som skjer ved intens nedbør over relativt korte tidsperioder (1 time - 3 døgn). Vi har utelatt vannmetningsgrad på grunn av at det kun finnes data med døgnoppløsning, mens vi i dette prosjektet har ønsket å bruke data med timesoppløsning.

Vi har fokusert på jordskred i bratte skråninger og utelatt dype utglidninger og skred i slake marine avsetninger som ofte blir utløst av langvarige nedbørshendelser.

1.1 Hypotese

Hypotesen for oppdraget var at klimaanalysene i dag veldig ofte er basert på Sandersen, m.fl. (1996) som tar utgangspunkt i døgnnedbør. Erfaringsmessig er mange av skredene utløst som følge av intens og lokal bygenedbør. Med et stadig tettere nettverk av nedbørstasjoner med registrering av timesnedbør og tilgang på radarbilder kan det utvikles bedre fremtidig statistisk grunnlag for kritiske terskelverdier for skredutløsning (intensitet/varighet) med mulighet for å analysere om det er forskjeller mellom ulike regioner.

1.2 Målsetning

I prosjektet har vi analysert typiske mønstre i nedbørforhold som leder til utløsning av jord- og flomskred i ulike regioner:

- Varighet av nedbør
- Intensitet på nedbør
- Når på året skred blir utløst

Målsetning er å utarbeide et hjelpemiddel for hvordan klimadata bedre kan brukes som grunnlag for kartlegging av flom- og jordskredfare og som kan inngå som referanse i Bransjestandarden.

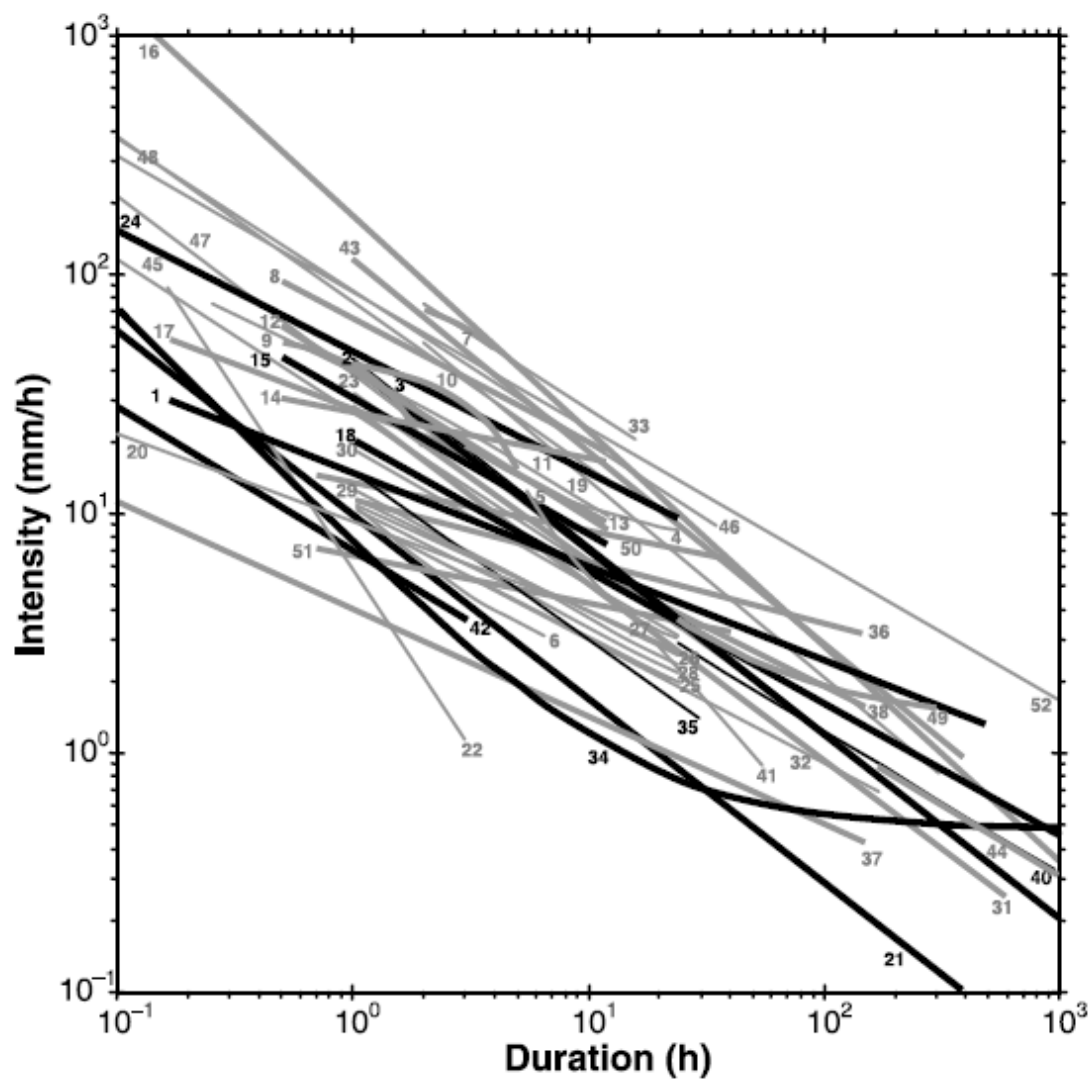
2 State of the art: terskelverdier for utløsning av jord- og flomskred

2.1 Internasjonalt

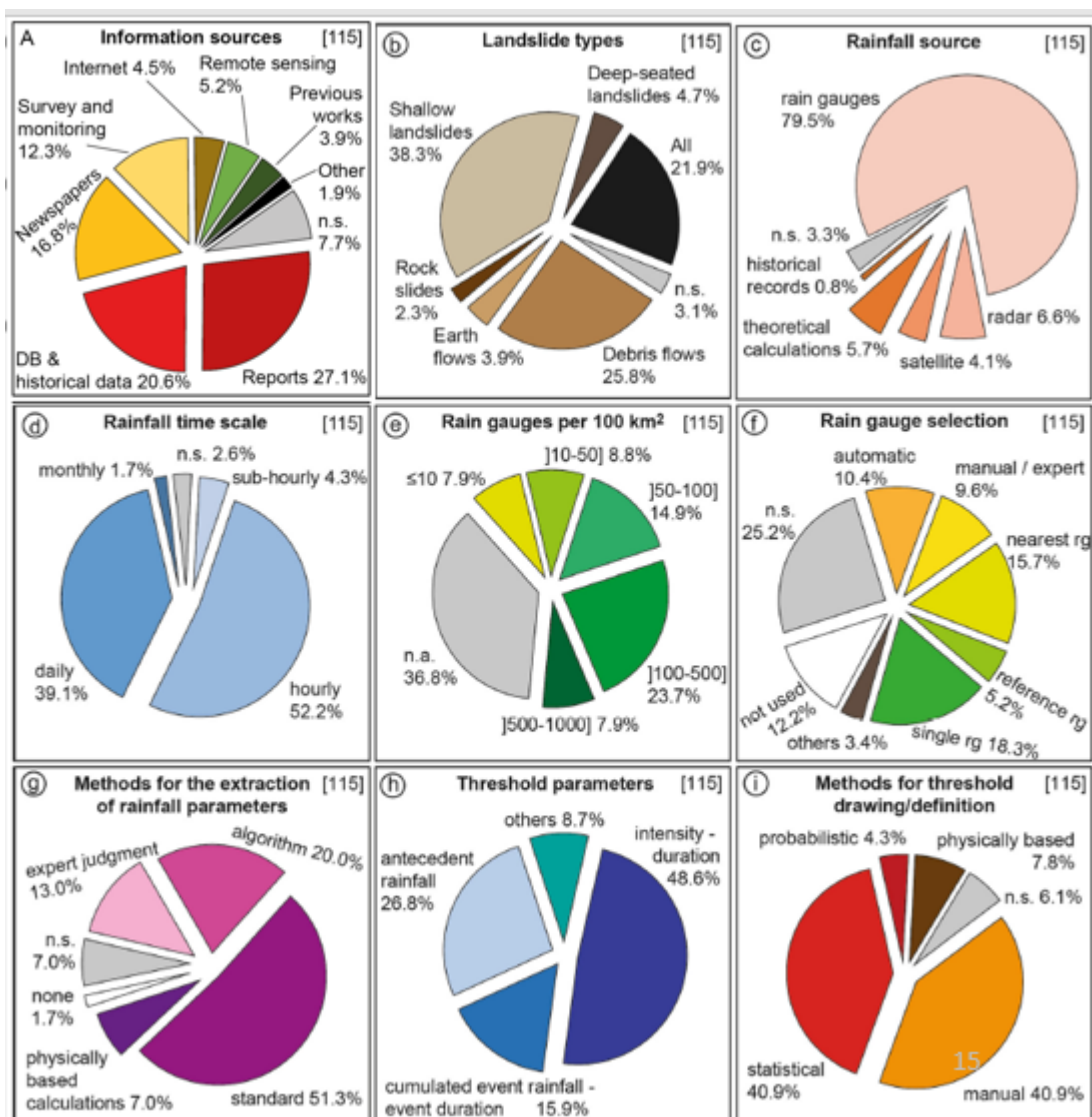
Mesteparten av internasjonal litteratur knyttet opp mot terskelverdier relaterer seg til varslings tjenester som er utløst av regn, som jord- og flomskred. Flere land har utviklet varslings tjenester både på nasjonalt, regionalt og lokalt nivå. Vanligvis blir det utarbeidet beredskapsplaner som beskriver risikoreduserende tiltak opp mot graden av fare.

En terskel er minimums- eller maksimumsnivået for en eller annen mengde som er nødvendig for at en prosess skal finne sted eller en tilstand for å endre seg (White et al, 1996). En terskel kan definere nedbør, jordfuktighet eller hydrologiske forhold som, når de overskrides, sannsynligvis vil utløse skred (Guzzetti et al., 2008). Nedbørsterskler kan defineres ut fra fysiske (prosessbaserte, konseptuelle) eller empiriske (historiske, statistiske) baser. Empiriske nedbørsterskler defineres ved å studere nedbørhendelser som har resultert (eller ikke) i skred. Tersklene defineres vanligvis ved å tegne nedre linjer for nedbørsforhold som resulterer i skred.

Guzzetti et al., 2008 og Segoni, et al., 2018, gir en god oversikt over internasjonale terskelverdier for utløsning av jord- og flomskred. Graden av fare blir gjerne knyttet opp mot nedbør (intensitet/varighetskurver), eventuelt i kombinasjon med grad av jordmetning eller forutgående nedbør.



Figur 1 Eksempler på intensitet/varighetskurver benyttet internasjonalt som terskelverdier for utløsning av jord- og flomskred (Guzzetti et al., 2008).



Figur 2 a. informasjonskilder som er brukt for å definere de analyserte terskelverdiene; b prosentvis andel av raske massebevegelser som er vurdert for å definere terskler (n.s., ikke spesifisert); c kilder for nedbørdata; d nedbør varighet som inngår i analysene; e romlig densitet på nedbørmålere, (n.a., ikke tilgjengelig); f metoder som er brukt for valg av nedbørmålere som inngår i analysene; g metoder brukt for å hente ut nedbørdata; h hoved parametre brukt for å definere terskler; i typer av terskler, i.e., metoder brukt for å definere tersklene. Totalt antall terskler er vist i klammer øverst i høyre hjørne. Figur hentet fra Segoni et al., 2018.

2.2 Nasjonalt

Sandersen et al., 1996 beskriver værforhold (døgnlign nedbør og snøsmelting, lufttemperatur, vindhastighet, og luftfuktighet) som fører til utløsning av ulike typer massebevegelser (jord- og flomskred, steinsprang og fjellskred). For jord- og flomskred ble det funnet at terskelverdien for kritisk døgnlign vanntilførsel var 8% av normal årsnedbør.

Cepeda et al., 2012 analyserte kritisk vanntilførsel avhengig av grad av jordmetning for grunne jordskred og flomskred som inngår i den nasjonale skreddatabasen. Cepeda, (2013a og b) beskriver sannsynligheten for utløsning av grunne jordskred og flomskred for regionene Nord-Norge og Vestlandet avhengig av vanntilførsel og grad av jordmetning.

Meyer et al., 2012 definerer intensitet-varighetskurver for kritisk vanntilførsel (nedbør og snøsmelting) som fører til utløsning av jord- og flomskred. Terskelverdiene har romlig variasjon, og beste tilpasning ble funnet ved å benytte normalisert vanntilførsel.

Boje et al 2014 summerer opp funn i tre NVE prosjekter som beskriver terskelverdier. Prosjektene er basert på statistiske analyser av hydrometeorologiske variabler simulert ved den hydrologiske HBV-modellen. Optimale terskler ble funnet ved å kombinere variablene relativ vanntilførsel og jordas relative vannmetningsgrad. Flere alternative klassifikasjonsteknikker er analysert som medførte alternative ligninger for terskelnivåene i ulike klimaregioner.

Boje, S., 2017 beskriver hydrometeorologiske terskler for jordskredfare på Sørlandet og Østlandet.

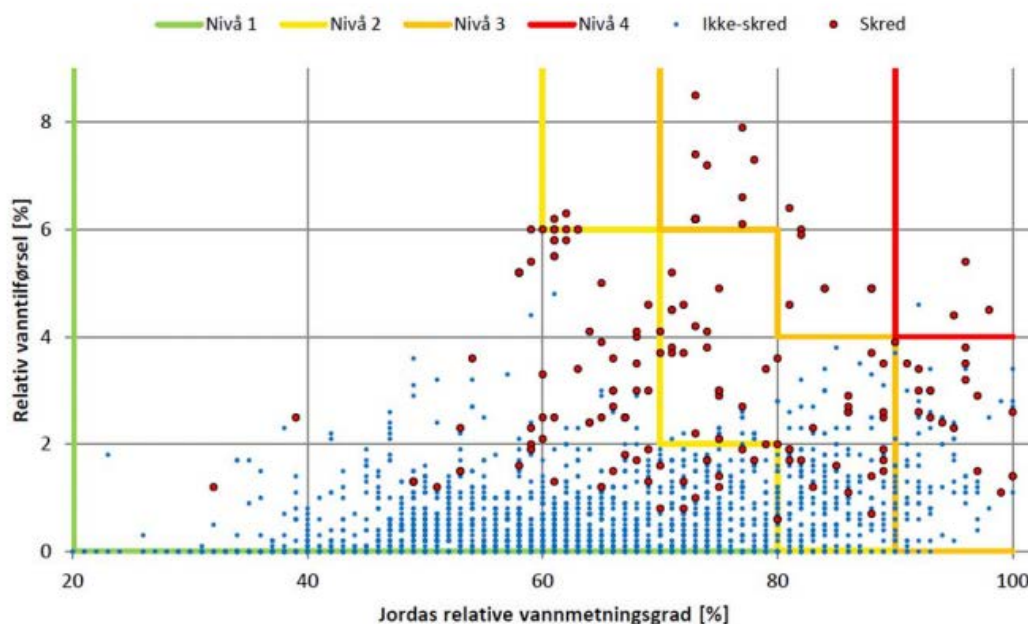
2.3 Jordskredvarslingen NVE

Jordskredvarslene er i hovedsak basert på hydrometeorologiske prognoser (modellberegninger), og terskelverdier med fokus på vanntilførsel (regn og snøsmelting) og tilstand i bakken (grunnavann, markvann, tele). Hovedprinsippet er at et varsel om jord-, sørpe- og/eller flomskredfare utstedes når en kombinasjon av terskelverdier overstiger et høyt nok nivå. Vurderingen utføres av fagpersoner som også bruker informasjon fra observasjoner i sanntid, historiske hendelser, informasjon fra meteorolog (MET-brief), erfaring og kjennskap til regional sårbarhet (aktsomhetskart). Kunnskapen om påviste sammenhenger mellom tidspunkt for tidligere skredhendelser og meteorologiske og hydrologiske variabler er brukt til utvikling av terskler for utløsning av jord- og flomskred. En av de viktigste parameterne som ble funnet er en kombinasjon av prognosert vanntilførsel (regn og snøsmelting) og jordas vanninnhold.

Metodikken bak varslingen er nærmere beskrevet i Colleuille et al. 2017.

Meteorologisk institutt (MET) og NVE har de siste årene i tillegg samordnet varslingen av intense sommer-regnbyger med kort varighet (styrtregn) med mulige konsekvenser som lokale oversvømmelser, jord- og flomskred der byger treffer. Det betyr at NVE ikke lenger sender egne farevarsel om flom- og jordskredfare når hovedsaken er styrtregn.

Det er konstruert terskelverdier for ulike jordskredregioner, og varslingen inneholder fire aktsomhetsnivåer (Figur 3).



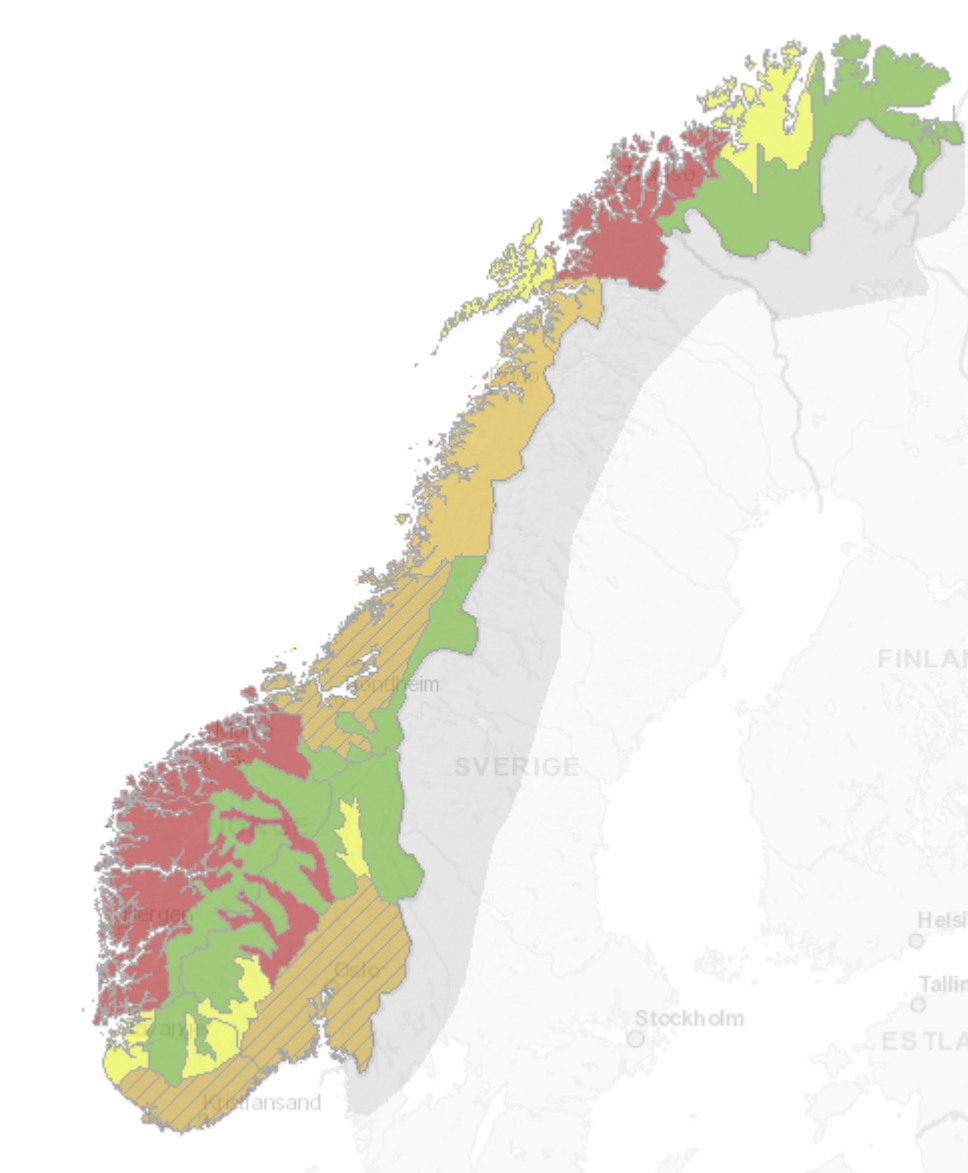
Figur 3 Varslingsnivåer bestemt ut fra relativ vanntilførsel i døgnet (% av årsnormal) og vannmetningsgrad for jordskredregion Østlandet (NVE).

NVE har også utarbeidet forslag til inndeling av landet i jordskredregioner. Disse regionene kan defineres som homogene med lik topografi, geomorfologi, nedbørfordeling og aktsomhetsnivå for jord- og flomskred. Inndelingen har vært modifisert flere ganger, og i dag brukes det rundt tolv regioner (Figur 4).

3 Datagrunnlag

3.1 Skreddatabase

NGI har brukt jord- og flomskredhendelser fra den nasjonale skredhendelsesdatabasen i analysen. Tre kategorier (skredtyper) ble brukt i analysen: 142 – flomskred, 144 – jordskred, og 145 – jordskred, uspesifisert. Det er usikkerhet knyttet til benevnelsen på skredtype i databasen. For eksempel kan en del sørpeskred (dvs. de som løsnet som sørpeskred oppe i høyden) med stor sannsynlighet vært registrert som flomskred eller jordskred da de gjerne ser slik ut nede i dalbunnen/lia.



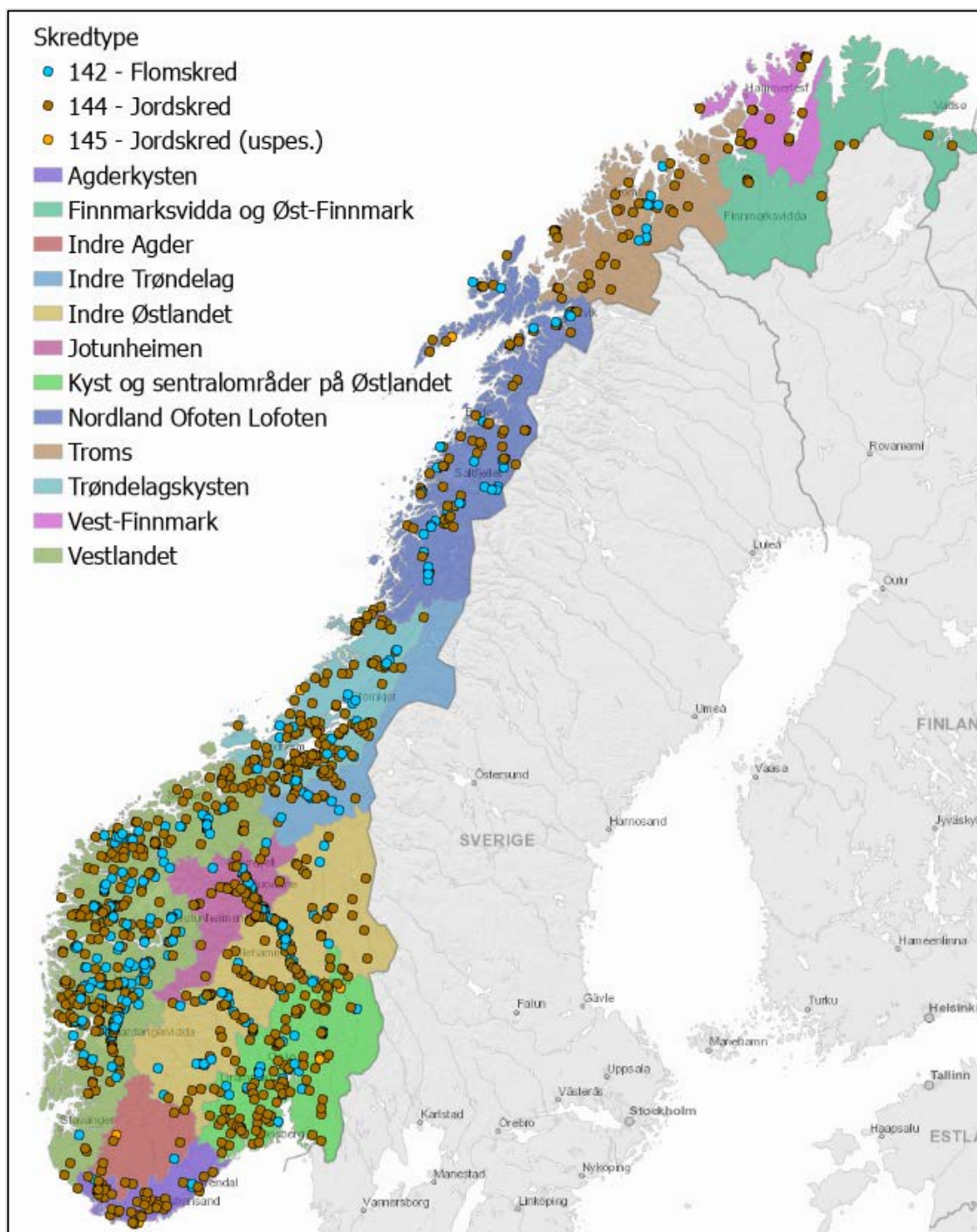
Figur 4 Jordskredregioner benyttet i varslingen (NVE).

Vi har valgt å utelate kategorien 140 – løsmasseskred uspesifisert fordi den har vist seg å inneholde kvikkleireskred og dype utglidninger i marin leire som ofte har andre utløsende årsaker enn jord- og flomskred.

Hendelser ble filtrert før den videre analysen. Hendelser tatt med i videre analyse har oppfylt tre krav:

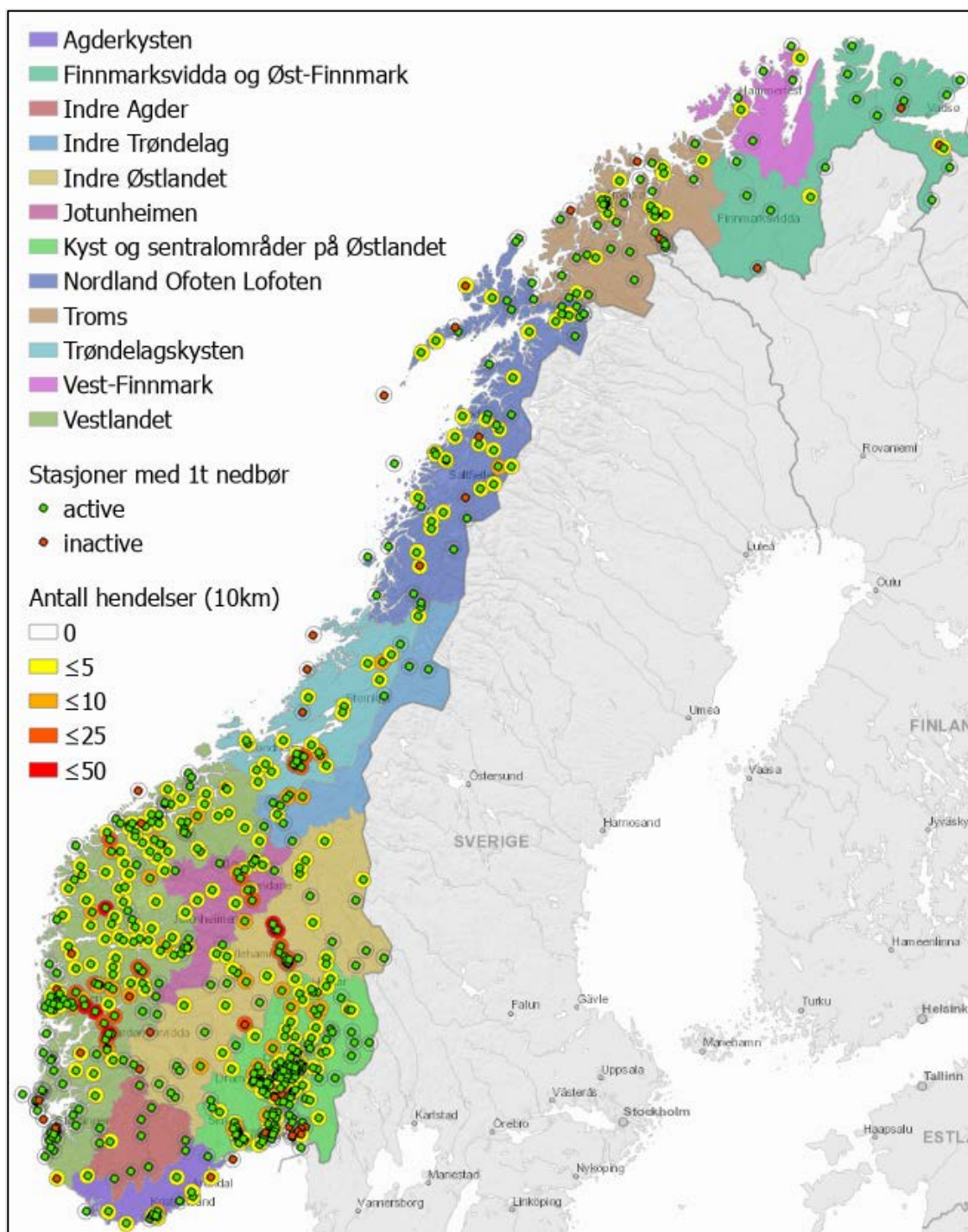
4. Skjedde etter 01.01.2000 – for å reflektere dagens klimaforhold og fordi få stasjoner med 1-timers nedbør er tilgjengelig før året 2000,
5. Romlig usikkerhet +/- 1 km eller bedre, og
6. Tidsmessig usikkerhet +/- 1 dag eller bedre.

Til slutt ble 1591 hendelse tatt med videre i analysen – 477 flomskredhendelser (142), 1101 jordskredhendelser (144), og 13 jordskredhendelser, uspesifisert (145). Romlig fordeling av skredhendelser er vist i Figur 5.



Figur 5 Jordskredregioner definert av NVE (nivå 3) og jord- og flomskredhendelser brukt i analysen, etter skredtype.

Vi har også analysert fordeling av automatstasjoner med 1 times måling av nedbør ettersom vi har fokus på korttidsnedbør (Figur 6).



Figur 6 Værstasjoner med 1-timers nedbør. Antall jord- og flomskred hendelser innenfor 10 km avstand er indikert. Inaktive stasjoner er stasjoner som bare dekker deler av perioden vi har analysert og som ikke er aktive i dag. Fargene i kartet viser jordskredregioner Nivå 3.

3.2 Meteorologiske data

Vi har benyttet flere kilder for nedbørsverdier fra både operasjonelle MET-værstasjoner, SeNorge-datasettet og radardata. Nedbørsmengder (mm) 3 dager før hendelsen er aggregert til følgende varigheter: 1t, 3t, 6t, 24t, 48t, 72t.

For å vurdere hyppigheten av nedbørhendelsene har vi benyttet IVF kurver, både fra operasjonelle værstasjoner der disse ligger nært nok skredlokasjonen, for øvrig har vi benyttet kurver basert på grid.

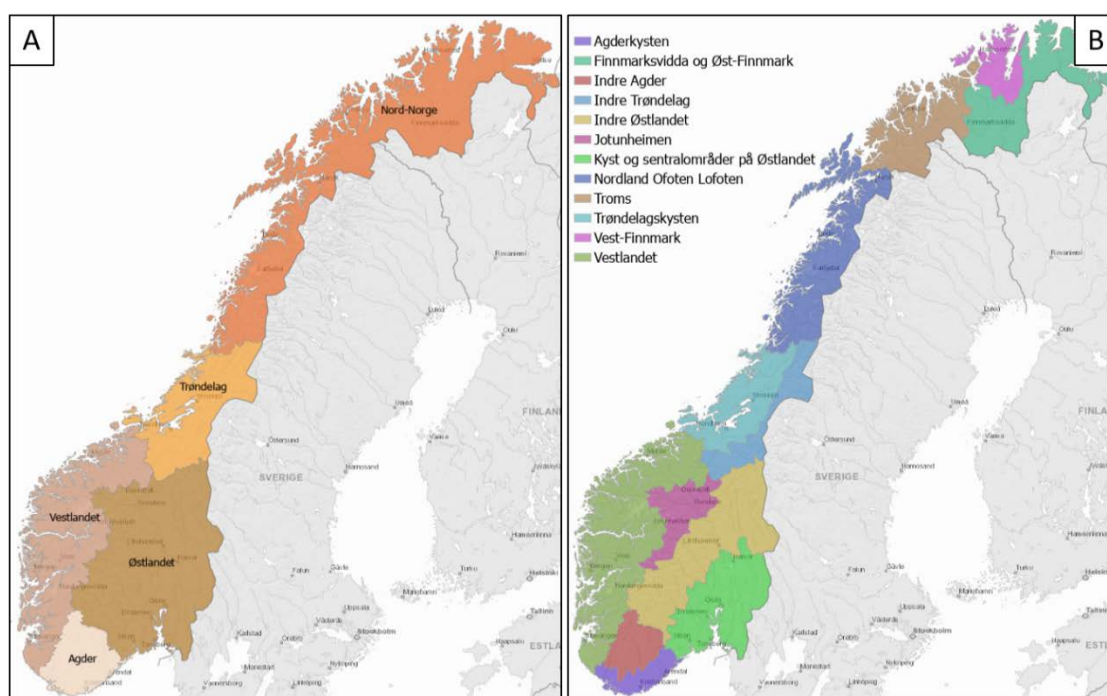
3.3 Jordfuktighet

Vi har ikke inkludert jordfuktighet i våre analyser ettersom tilgjengelige data har for lav tidsoppløsning.

4 Metodikk

4.1 Regioner benyttet i analysene

For å fordele hendelser inn i regioner for videre analyse har NGI brukt NVEs jordskredsoner. For de meteorologiske analysene har vi benyttet både Nivå 2 og 3 (Figur 7). Analyser med fineste inndeling ga liten merverdi i forhold til å belyse regionale forskjeller i nedbørsmønstre og trender, ettersom det statistiske grunnlaget ble for svakt og usikkerheten for høy. Nivå 3 inndeling er kun benyttet som bakgrunnskart for å belyse regionale forskjeller og i utvalgte tabeller.



Figur 7 NVEs jordskredregioner. A) Nivå 2, med 5 soner. B) Nivå 3, med 12 soner.

Tabell 1 Sammenheng mellom NVEs jordskredregioner– Nivå 2 og Nivå 3 (Vist i Figur 7).

Nivå 2	Nivå 3
Agder	Indre Agder
	Agderkysten
Vestlandet	Vestlandet
Østlandet	Kyst og sentralområder på Østlandet
	Indre Østlandet
	Jotunheimen
Trøndelag	Indre Trøndelag
	Trøndelagskysten
Nord-Norge	Nordland Ofoten Lofoten
	Troms
	Finnmarksvidda og Øst-Finnmark
	Vest-Finnmark

4.2 Meteorologisk analyse/statistikk

Analysen av nedbørsmengder og varighet er utført hvor hver av de 1591 utvalgte jord- og flomskredhendelsene. For å verifisere kvaliteten av dataene er det hentet nedbørsverdier fra både operasjonelle MET-værstasjoner, SeNorge-datasettet og radardata. Nedbørsmengder (mm) 3 dager før hendelsen er aggregert til følgende varigheter: 1t, 3t, 6t, 24t, 48t, 72t.

Radardata for nedbør med timesoppløsning er tilgjengelig fra 01-01-2010 (MET). Dataene er ikke kalibrert for avstand fra radar eller skyggeeffekter, og verdiene er derfor ikke ansett som pålitelige. Tidsserier av timesdata er imidlertid nyttig for å få et godt bilde av utviklingen i situasjonen, samt å verifisere valg av avgjørende varighet. Data er hentet ut for 3 døgn før hendelsen, samt skreddøgnnet. Timesdata er aggregert til løpende 3t, 6t, 24t data.

SeNorge-data: Tidsserier av *RR* (nedbør), *QTT* (regn + snøsmelting) og *QSW* (snøsmelting) i SeNorge-datasettet 3 døgn før skredtidspunkt er hentet for nærmeste gridcelle (xgeo.no). Etter 2010 hvor det finnes 3-timers data for *RR* er også dette benyttet. Ellers er det hentet ut døgnverdier. På grunn av oppløsningen til SeNorge (1x1 km) finnes det tilfeller (særlig langs fjorder) hvor det ikke finnes data i databasen for angitt skredlokasjon. Data er da hentet fra en av de 8 omkringliggende cellene som inneholder data.

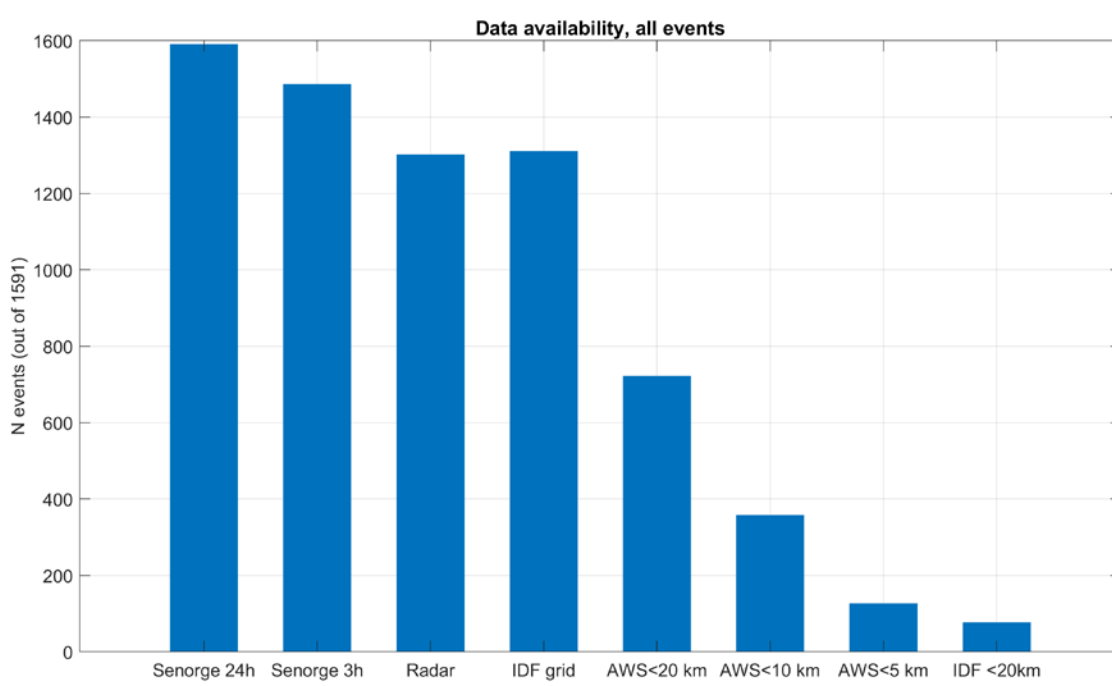
Der 3-timersdata er tilgjengelig, er disse aggregert til løpende 3t, 6t, og 24t tidsserier. Maksverdi for 3t og 6t *RR* i skreddøgnnet er benyttet videre i analysen for å ta høyde for usikkerhet i tidspunkt av skredregistrering og usikkerhet i de interpolerte nedbørdataene i SeNorge. 24t, 48t, og 72t nedbør er beregnet tilbake fra tidspunkt for maks 6t nedbør.

Værstasjoner fra MET (AWS): For hver skredhendelse er nærmeste værstasjon med timesnedbør registrert for skredtidspunktet identifisert. Dersom avstand til stasjonen er

under 20 km er stasjonen inkludert i videre analyse. Timesdata er hentet ut for 3 døgner før hendelsen, samt skreddøgnet, og aggregert til løpende 1t, 3t, 6t data. Maksverdi for de 3 varighetene i skreddøgnet er benyttet videre i analysen for å ta høyde for usikkerhet i tidspunkt av skredregistrering og potensielle avvik mellom når nedbør treffer skredlokasjon og værstasjonen. 24t, 48, og 72t nedbør er beregnet tilbake fra tidspunkt for maks 6t nedbør.

IVF-kurver: For værstasjoner med tilgjengelig intensitet-varighet-frekvens (IVF)-kurve er denne benyttet (frost.met.no). Dette gjelder imidlertid svært få av stasjonene i analysen, og IVF-kurver basert på grid (frost.met.no) er derfor i tillegg benyttet for angitt skredlokasjon. Det er stor usikkerhet i kvaliteten til de griddede IVF-kurvene, og verdiene kan ikke uten videre benyttes direkte i analysen. Kurvene er her kun benyttet til å identifisere varighet med høyest returperiode (relativt høyeste nedbørsverdi i forhold til IVF-kurven), samt å identifisere om man har fanget opp en "uvanlig" nedbørhendelse. Hendelser hvor verdien for varighet med maks returperiode har en returperiode under 10 år, er ekskludert.

Datatilgang: Nedbørdata fra Senorge med døgnoopløsning er tilgjengelig fra samtlige skred, mens 3-timers data er tilgjengelig for 1486 skred (Figur 8). Radardata er tilgjengelig fra 1321 skred, mens IVF-kurver fra grid er hentet ut for 1313 skredlokasjoner. Timesdata fra værstasjon nærmere enn 20 km for skredtidspunktet finnes for 746 skred, mens antallet reduseres til henholdsvis 381 og 134 hendelser om avstandskravet settes til 10 km og 5 km. IVF-kurver for værstasjon som ligger nærmere enn 20 km til skredet finnes kun for 77 hendelser (en del av disse tilhører samme nedbørshendelse).



Figur 8 Antall skredhendelser med tilgang til ulike kilder for nedbørdata.

Figurer:

Hendelsene er analysert kronologisk med en ID for hver hendelse fra eldst til nyest, og lagret i en database. Figurene inneholder følgende data (se eksempler i Figur 9 og Figur 10). For hver skredhendelse er følgende to figurer produsert:

1. Tidsserier av nedbørdata fra radar (Figur 9, øverst), SeNorge (Figur 9, midt) og nærmeste værstasjon (Figur 9, nederst). Angitt skredtidspunkt fra databasen er gitt i overskriften, og også markert med rød sirkel langs tids-aksen. Anvendt tidspunkt for analysen (justert der det kun er 3-timers data tilgjengelig eller til maksverdi for 6-timers data der kun skreddato er oppgitt) er inkludert i svart tekst i figuren, samt markert med en svart stjerne.

2. IVF-kurver fra grid-punkt (Figur 10, øvre) og stasjonsdata der det er tilgjengelig (Figur 10, nedre) er vist sammen med fordeling av nedbørsverdier på varighet fra de ulike datakildene.

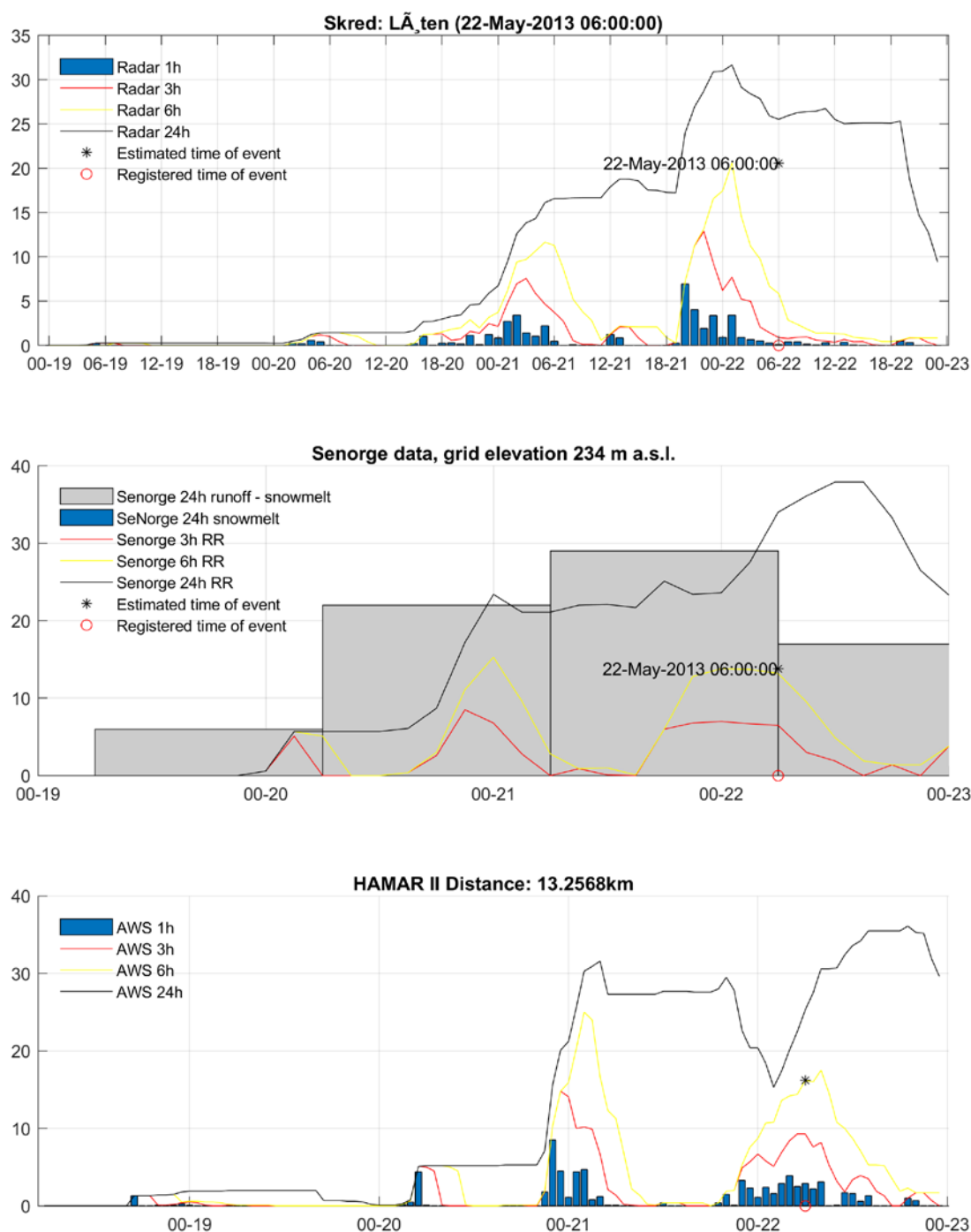
Kvalitetskontroll av data:

Databasen med tidsserier for nedbør og IVF-kurver muliggjør visuell kontroll av datakvalitet, valg av maksverdi og maks varighet for hver hendelse. Samtlige hendelser er gjennomgått, og en vurdering på kvalitet av samtlige datakilder er vurdert for hver hendelse.

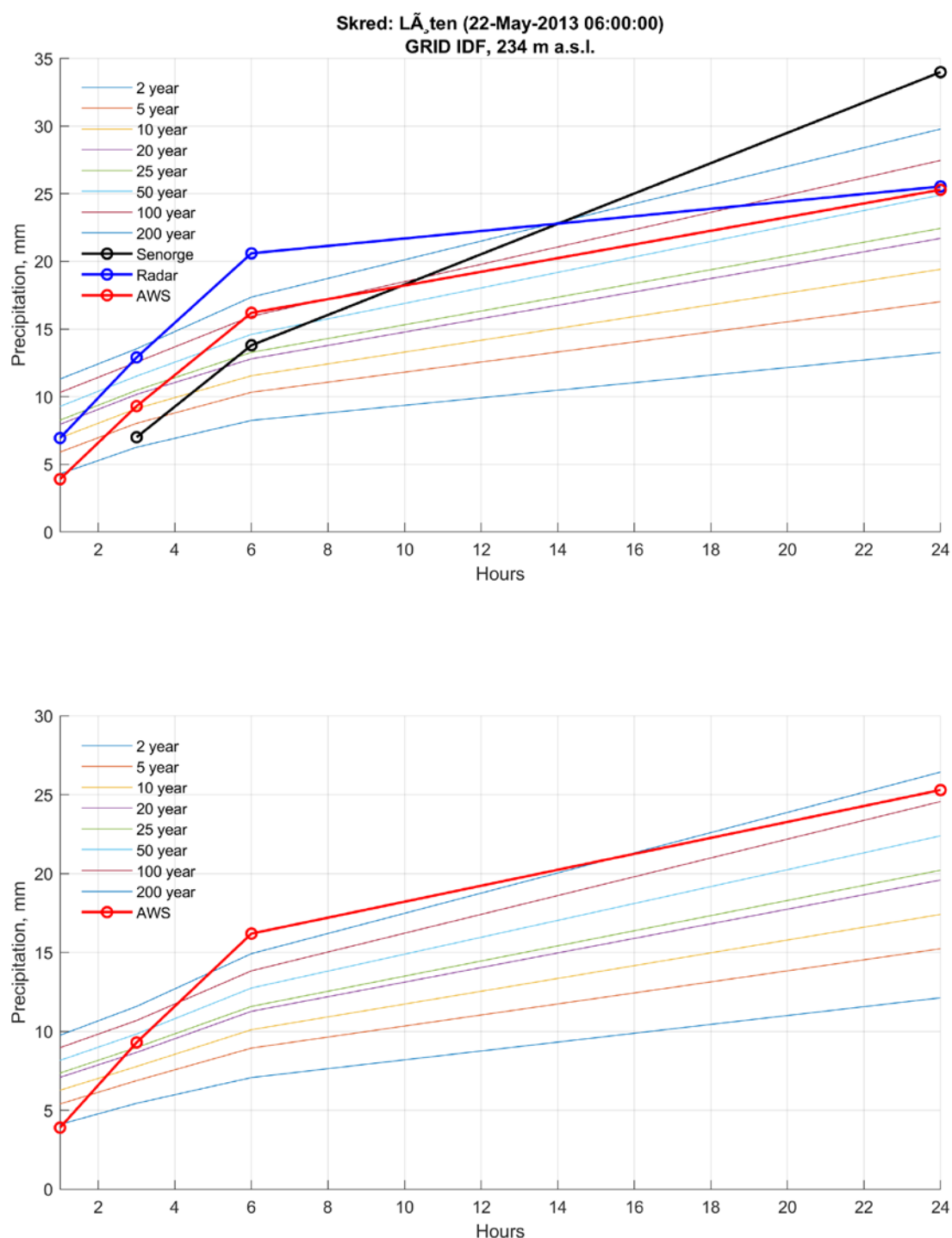
- Hendelser hvor valgt værstasjon eller SeNorge ikke fanger opp hendelsen ved at det for eksempel er stort avvik fra radardata eller hvor datakvaliteten ser upålitelig ut, er ekskludert.
- Hendelser som er tydelig påvirket av snøsmelting er registrert som snøsmeltingshendelser. Dette fanger imidlertid ikke opp alle hendelser hvor snøsmelting er et vesentlig bidrag. Dersom hendelsen er registrert i lavlandet hvor det ikke er snø, mens snøsmeltingen forgår i høyfjellet (typisk snøsmeltingsflommer i større vassdrag), vil dette ikke fanges opp.
- Valg av dominerende varighet (varighet med maks returperiode) er kontrollert for samtlige hendelser, ved å sammenligne meteorologiske data og radardata.
- Der det er registrert mange skred på en dag, i samme nedbørhendelse, er en av disse valgt ut for å "representere" hendelsen i videre statistikk

Basert på kvalitetskontrollen er:

- SeNorge-data fra 188 skred ekskludert, data fra 1247 skred er ok
- Værstasjonsdata fra 312 skred er ekskludert, 585 skred er ok
- Radar-data fra 311 skred ekskludert (men absoluttverdier fra radardata er generelt sett ikke benyttet)
- 369 skred er identifisert som sammenfallende med snøsmelting
- Varighet er kontrollert og angitt for 1162 skred



Figur 9: Eksempel på figur som viser tidsserier av nedbør før en skredhendelse. Radardata (øverst), SeNorge-data (midten) og data fra nærmeste værstasjon (nederst) er vist i separate plott i figuren. Navn og tidspunkt for hendelsen er angitt i tittel øverst, gjennomsnittshøyde for valgt grid-celle i SeNorge er angitt i tittelen i midten, mens navn og avstand til værstasjon angitt i tittelen for værstasjonsdata (nederst). Rød sirkel på x-aksen angir registrert skredtidspunkt, svart stjerne angir valgt skredtidspunkt i analysen.

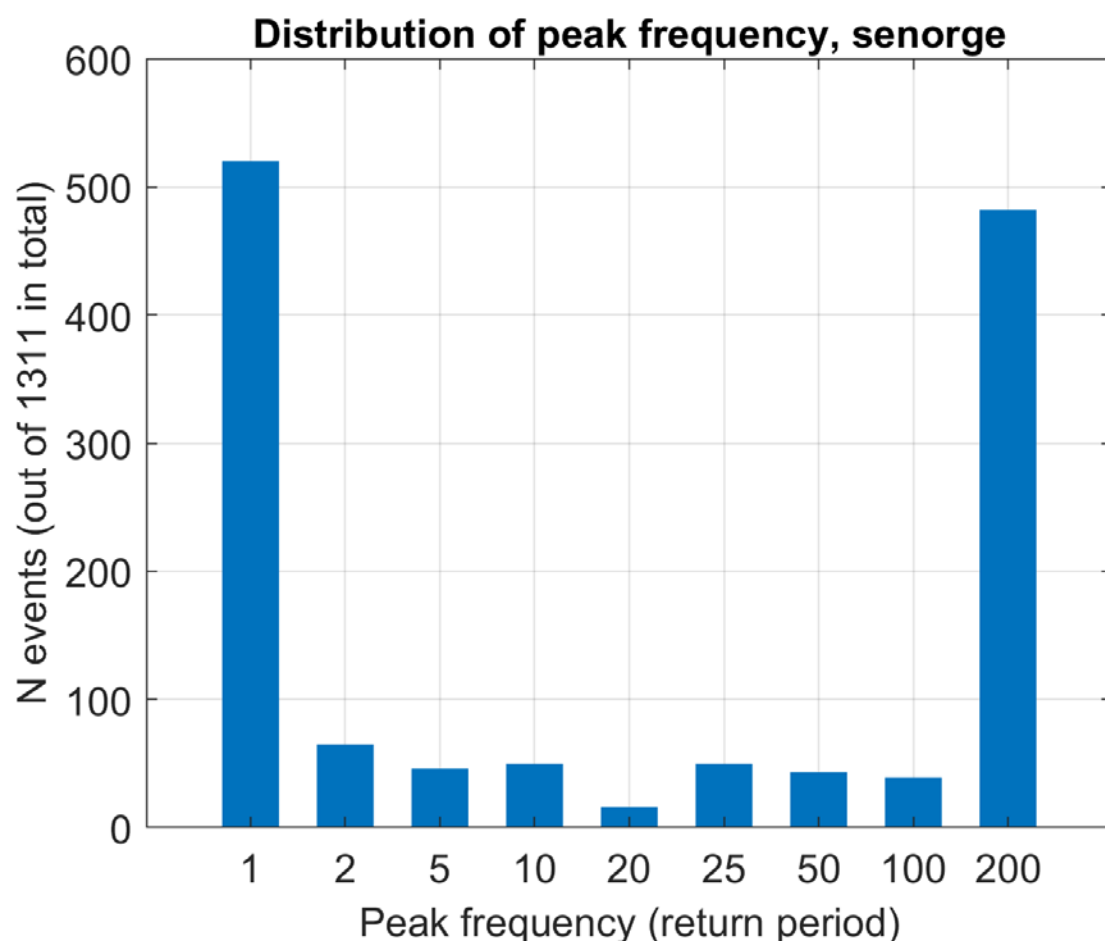


Figur 10: IVF-kurver fra grid (øverst) er vist sammen med verdier for de ulike varighetene beregnet fra radar-, senorge- og værstasjonsdata (AWS). Intensitet-varighet data fra nærmeste værstasjon (AWS) er vist sammen med IVF-kurve fra samme værstasjon (nederst).

5 Resultater av meteorologisk analyse

5.1 Nedbørshendelser sammenlignet med IVF-kurver

For over 1300 av jord- og flomskredhendelsene i den nasjonale skreddatabasen er det gjort en sammenligning av observerte nedbørsverdier for ulike varigheter før hendelsen, og tilgjengelig IVF-kurve. Dette datasettet er oversendt NVE. For rundt 50% av hendelsene har nedbørsverdi med varighet med høyeste returperiode, en returperiode over 10 år. For over 450 av skredene er returperioden over 200 års returverdi for denne varigheten (Figur 11). For en del hendelser fanges ikke nedbøren som forårsaker hendelsen opp i stasjons-data eller senorge-datasettet. For å kunne filtrere datasettet er derfor kun hendelser med maks returperiode over 10 år inkludert.



Figur 11: Fordeling av høyeste returperiode for 1311 skredhendelser.

5.1.1 Typisk varighet av nedbør for ulike regioner

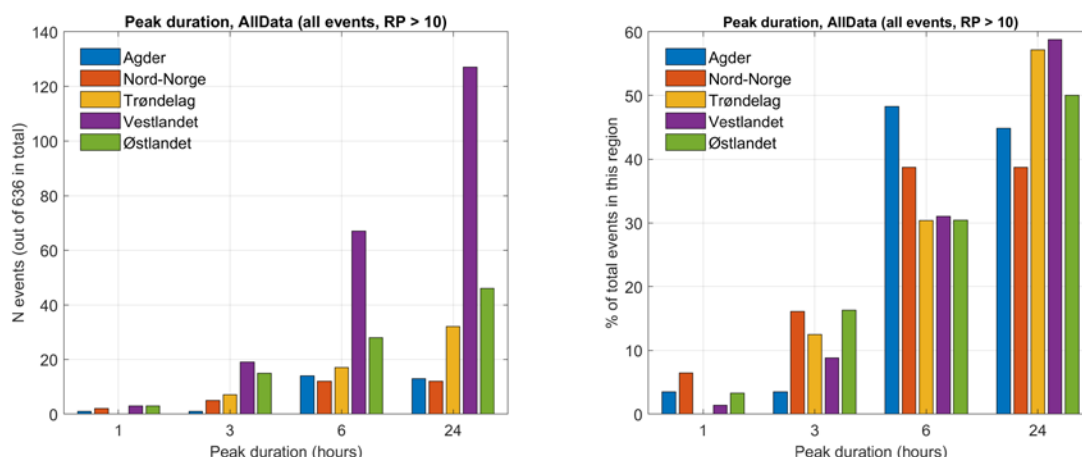
Fordeling av varigheter per overordnet nedbørsregion viser at rundt 50% av skredene er knyttet til høy nedbørintensitet siste 24t før hendelsen (Figur 12, høyre). Dette er særlig

utpreget i regionene Vestlandet og Trøndelag. I sistnevnte region er også nedbør over flere døgn utløsende årsak ved mange skredhendelser.

I regionene Agder og Nord-Norge er 24 t nedbør noe mindre dominerende, og har lik frekvens (rundt 40%) som 6-timers nedbør (Figur 12, høyre). Det må presiseres at det også er færre skredhendelser her (Figur 12, venstre), og at statistikken derfor er noe mer usikker.

En lavere prosentandel av skredene skyldes korttidsnedbør, men likevel er rundt 15% av skredene i regionene Østlandet og Nord-Norge identifisert som 3-timers nedbørshendelser.

Et lavere antall skred er identifisert som 1-timers hendelser. Det reelle antallet kan være noe høyere enn hva som kommer frem i statistikken da nedbørsdata ofte har problemer med å fange opp intens nedbør som ofte forekommer svært lokalt.

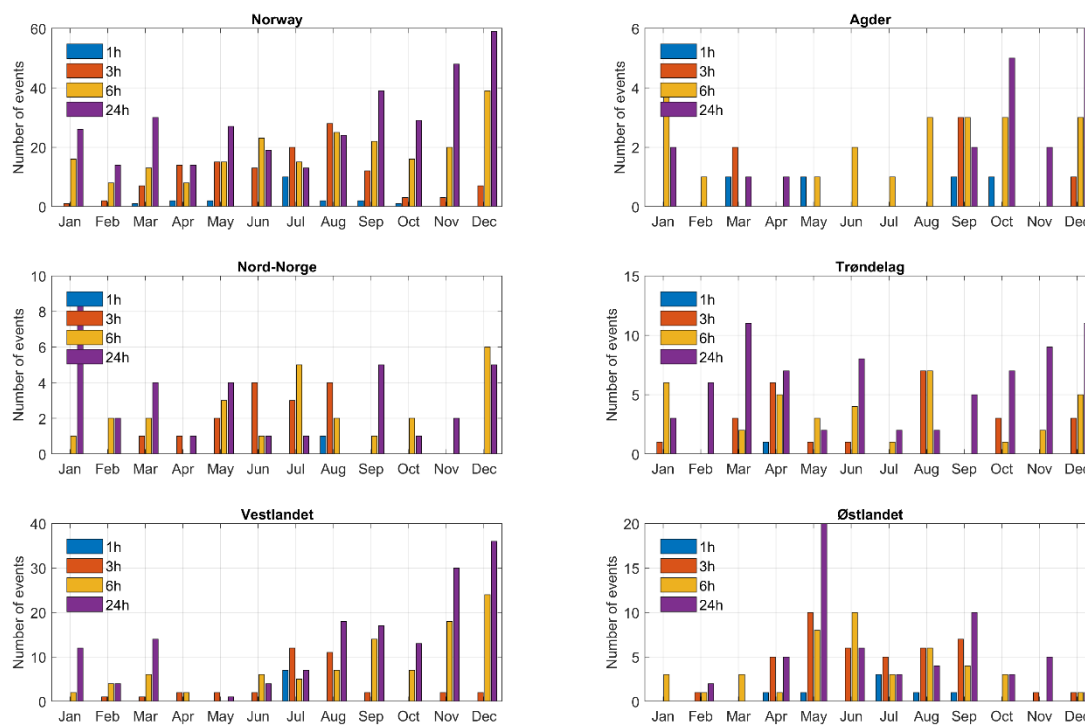


Figur 12: Antall skred (venstre) og prosentandel av skred (høyre) for de ulike dominerende nedbørshendelsene (varighet med høyeste returperiode), fordelt på Jordskredregioner Nivå 2. RP står for Retur Periode.

5.1.2 Typisk nedbørsvarighet for ulike sesonger

Figur 13 viser en oversikt over antall skredhendelser registrert fordelt på måned og varighet, for de ulike regionene, samt for Norge samlet i ett. For Østlandsregionen forekommer flest skred ved nedbørshendelser av 24 timers varighet i vårmånedene april og mai, og sammenfaller gjerne med snøsmelting- og flomhendelser. Korttidshendelser med 1-3 timers nedbør forekommer primært i sommerhalvåret (april – september) med størst forekomst i juli. I Østlandsregionen er det relativt få hendelser i perioden november til mars.

I Vestlandsregionen er flest antall skred tilknyttet 6 – 24 timers nedbør og finner sted på høsten og tidlig vinter (september – desember). Korttidsnedbør er mest utbredt i juli og august, men står likevel for en relativt liten del av hendelsene. For de øvrige regionene er det mindre klare sesongbaserte trender i datasettet, og i Trøndelag ser vi skred som et resultat av at langtidsnedbør forekommer gjennom mesteparten av året.



Figur 13: Antall skredhendelser i hver region Nivå 2 fordelt på måned og nedbørsvareighet.

5.1.3 Dager med høy skredfrekvens

Tabell 2 gir en oversikt over dager siden 1. januar 2011 med flere enn 10 registrerte flom- eller jordskred i databasen, innenfor en jordskredregion. Oversikten viser at de fleste dagene med mange skredhendelser sammenfaller med kjente ekstremvær eller kraftig snøsmelting/flom. De fleste av hendelsene forekommer i månedene fra oktober til januar.

For de fleste dagene er 24t – 72t nedbør dominerende nedbørsvareighet, men 6t er også dominerende for enkelte av dagene. Det er derfor nyttig å se på returperioder av nedbør også opp til 72 timer. Unntaket er den kraftige korttidshendelsen i Jølster 20 juli 2019, der dominerende nedbørsvareighet var 1t.

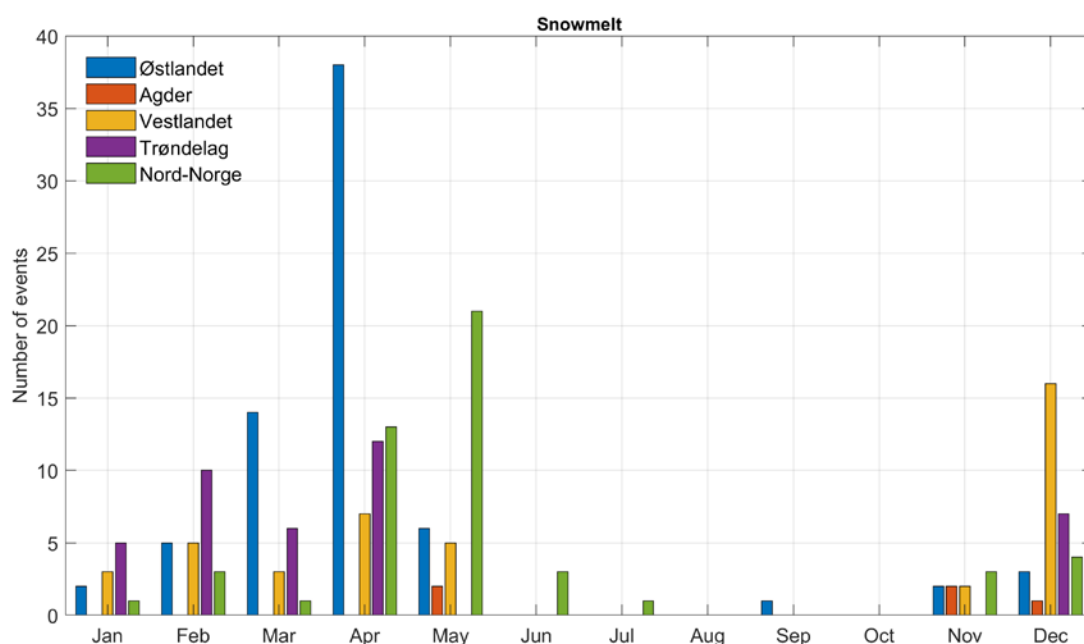
De største hendelsene knyttet til snøsmelting og flom forekommer i april og mai, men av oversikten ser vi at vi også kan ha større skredhendelser med bidrag fra snøsmelting også i desember og januar i mer kystnære områder (Vestlandet, Nord-Vestlandet og Trøndelag).

Tabell 2: Dager med flere enn 10 registrerte skred i kategori 142-145 i den nasjonale skreddatabasen.

Dato	Antall skred	Typisk varighet	"Ekstremvær"	Region, nivå 3
26-Dec-2011	48	6t - 24t	Dagmar	Vestlandet
22-May-2013	140	>24t	Storflom, snøsmelting	Indre Østlandet, Kyst og sentralområder på Østlandet, Jotunheimen
23-May-2013	13	>24t	Storflom, snøsmelting	Indre Østlandet, Kyst og sentralområder på Østlandet, Jotunheimen
15-Nov-2013	37	6-24 t	Hilde	Vestlandet og Trøndelagskysten
20-Mar-2014	13	>24	Kyrre	Vestlandet og Nordland/Ofoten/Lofoten
28-Oct-2014	17	24t		Vestlandet
27-Nov-2015	12	24t		Vestlandet
05-Dec-2015	14	> 24t	Synne	Vestlandet og Agderkysten
04-Dec-2016	12	> 24t	Langtids nedbør + snøsmelting	Vestlandet og Trøndelagskysten
05-Dec-2016	14	> 24t	Langtids nedbør + snøsmelting	Vestlandet og Trøndelagskysten
02-Oct-2017	12	6t		Vestlandet/indre Østlandet, Agderkysten, Kyst og sentralområder på Østlandet
07-Dec-2017	11	> 24t	Aina	Vestlandet
23-Dec-2017	13	>24t	Birk	Vestlandet
18-Apr-2018	12	3t	Snøsmelting	Primært Indre Østlandet, også Jotunheimen, og Kyst og sentralområder på Østlandet.
04-Jan-2019	11	6t	Snøsmelting	Trøndelagskysten
06-Jun-2019	12	6t		Kyst og sentralområder på Østlandet
30-Jul-2019	41	1t	Konvektiv nedbør	Vestlandet

5.1.4 Fordeling av snøsmeltingshendelser

De fleste snøsmeltingshendelser forekommer naturlig nok i vårmånedene april og mai, men det er likevel noen regionale forskjeller (Figur 14). På Østlandet forekommer skred som resultat av snøsmelting i størst grad i mars og april, mens det i Nord-Norge forekommer i snitt en måned senere (april - mai). I Trøndelag forekommer snøsmeltingspåvirkede skred med en ganske lik andel fra desember til april, mens på Vestlandet forekommer de fleste på tidlig vinter i desember. I Agder er det generelt registrert få skredhendelser knyttet til snøsmelting.

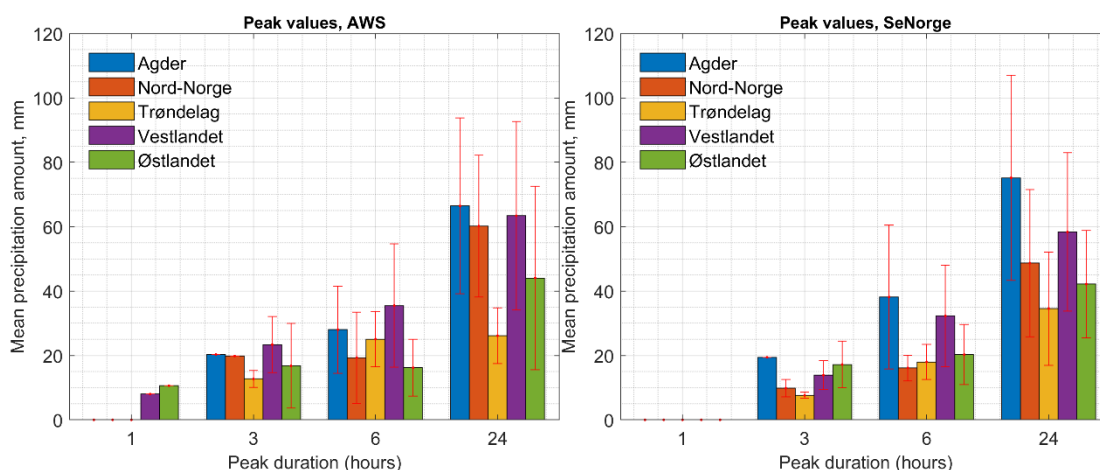


Figur 14: Fordeling av flom- og jordskredhendelser som er vurdert å helt delvis eller i stor grad skyldes snøsmelting.

5.1.5 Typiske nedbørsverdier

Gjennomsnittlige nedbørverdier for varighet og region er beregnet for hver region basert på nærmeste værstasjon innenfor 20 km (Figur 15, venstre) og SeNorge-data (Figur 15, høyre). Generelt er det god overenstemmelse i verdier observert på nærmeste værstasjon og i SeNorge, men i snitt er verdiene observert på værstasjon noe høyere. Unntaket er i Agder, hvor SeNorge-data enten har tilsvarende eller noe høyere verdier.

Det er stor variasjon i nedbørsverdiene for hver varighet. Verdier for 3-timers nedbør ligger rundt 20 mm, 6-timers nedbør fra 20 til 50 mm, og døgnnedbør rundt 60 mm for regionene Vestlandet, Agder og Nord-Norge. For Østlandet og Trøndelag er verdiene lavere, men dette skyldes trolig en større effekt av langtidsnedbør samt snøsmelting fra områder lengre unna.



Figur 15: Gjennomsnittlige nedbørsverdier for varighet fordelt på regioner basert på timesdata fra nærmeste værstasjon (venstre) og 3-timers data fra SeNorge (høyre). Standardavvik er vist i røde bars.

Typiske kritiske nedbørverdier (mm) fra Figur 15 vist i Tabell 3.

Tabell 3 Typiske verdier for kritiske nedbørmengder (mm) i de ulike regionene (nivå 2).

Region	3 timer	6 timer	24 timer
Agder	20	30-40	50-100
Nord-Norge	20	20-35	40-80
Trøndelag	10-15	20-35	20-50
Vestlandet	15-35	20-55	40-90
Østlandet	10-30	15-30	20-75

Det er vanskelig å se tydelige forskjeller i kritiske nedbørverdier i de ulike klimaregionene. Det synes å være høyest verdier i Agder og på Vestlandet, og dette henger trolig sammen med at disse regionene har generelt mest nedbør.

Tabell 3 viser trolig for lave verdier i forhold til aktuell nedbør på skredlokalitetene fordi nedbøren har vært for lokal til å fanges opp i analysene. Det er også usikkerhet knyttet til verdiene fordi erfaring har vist at mange skred blir utløst i kombinasjon med menneskelige inngrep som forstyrrer den naturlige likevekten.

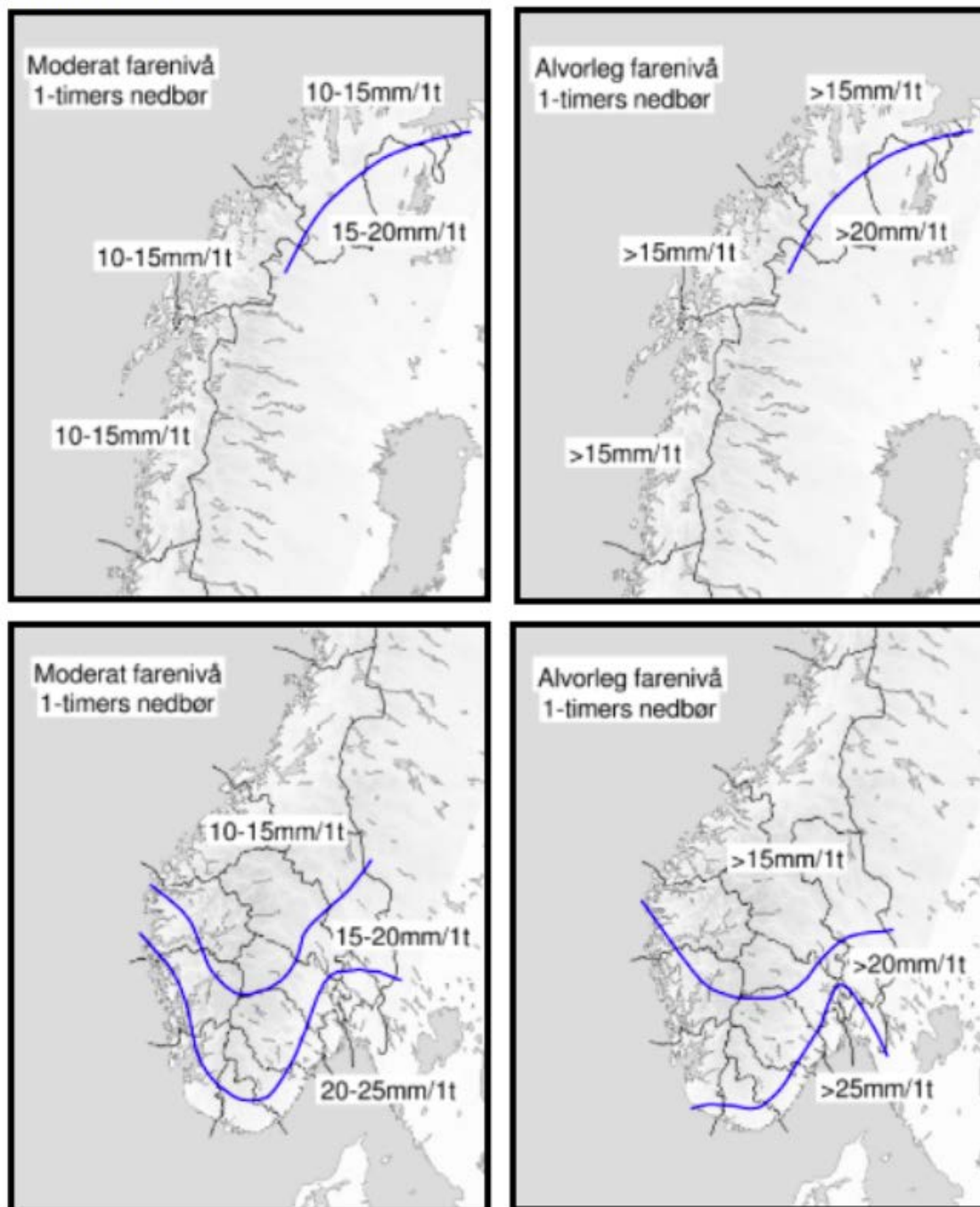
Sammenlignet med kritiske døgnnedbør angitt av Sandersen et al.,1996 (8% av årnormal) er verdiene noe lavere i våre analyser, Tabell 4. Dette gjelder særlig på Vestlandet og i Trøndelag.

Tabell 4 Kritisk døgnnedbør (mm) etter Sandersen et al., 1996

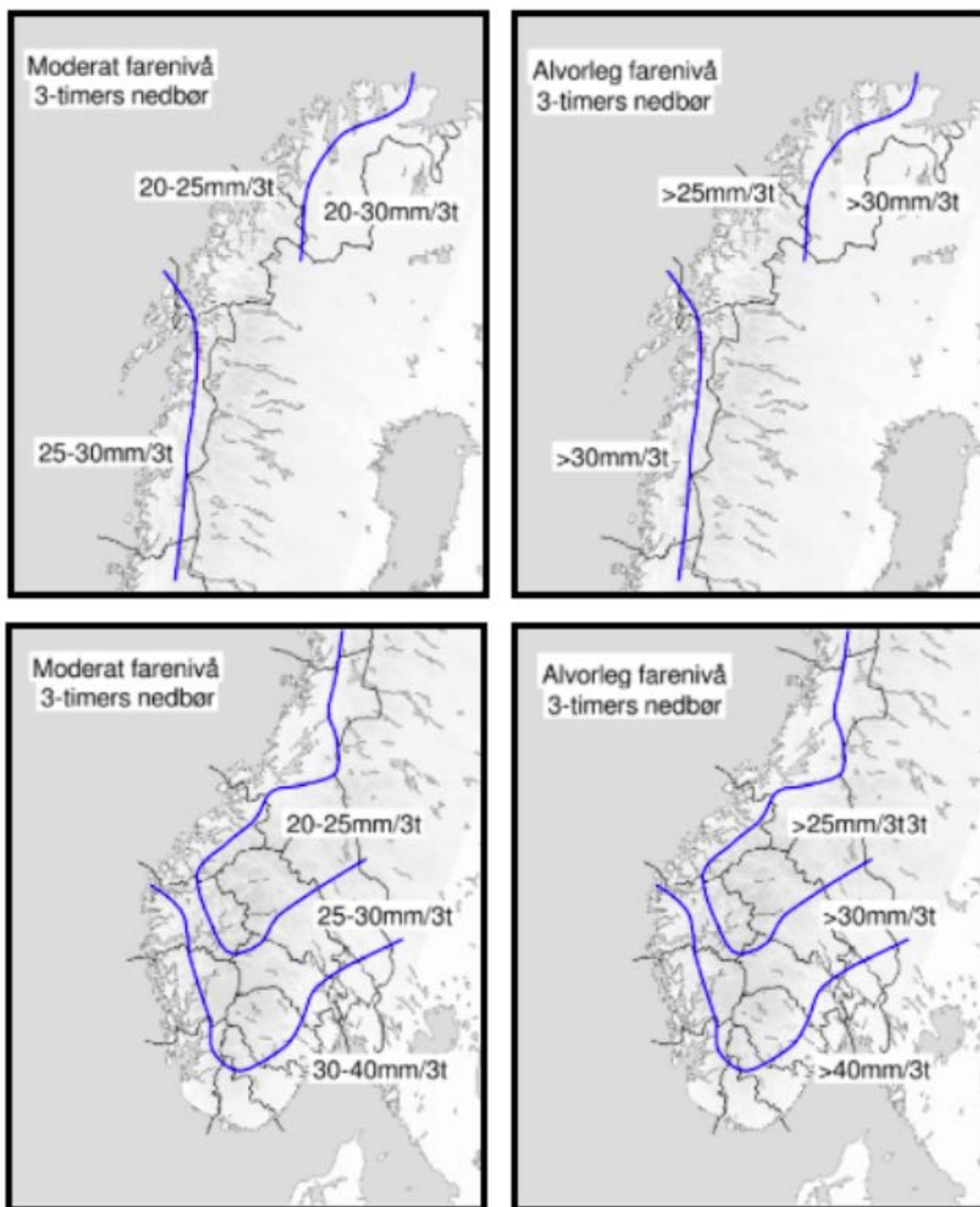
Region	Antatt årsnedbør	Kritisk nedbør 24 timer	24 timer fra tabell 3
Agder	1200-2000	96-160	50-100
Nord-Norge	500-1500	40-120	40-80
Trøndelag	800-1200	48-96	20-50
Vestlandet	2000-2500	160-200	40-90
Østlandet	500-800	30-48	20-75

Met.no utsteder "Farevarsel for regn" som omhandler vedvarende regn over store områder. Farevarslene skiller mellom "Styrtregn" (1-3 timer) og "Regn" (6-24 timer) ettersom dette har mye å si for usikkerheten til prognosene. Farenivåene er klassifisert i tre nivåer, hhv. gult, oransje og rødt nivå ([Regn \(met.no\)](https://www.met.no)). Verdiene som legges til grunn er vist i Figur 16 - Figur 19.

1-times nedbør

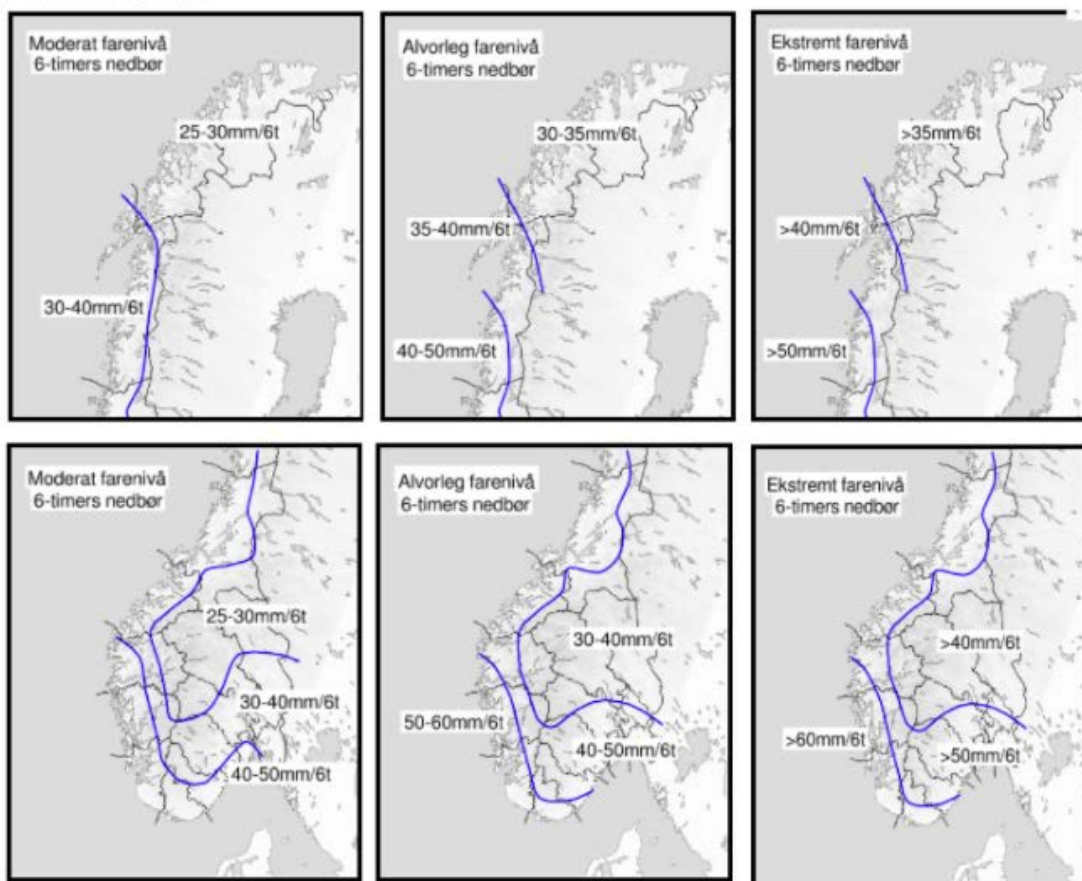


Figur 16 Anbefalte verdier for farevarsling på 1-timers nedbør.



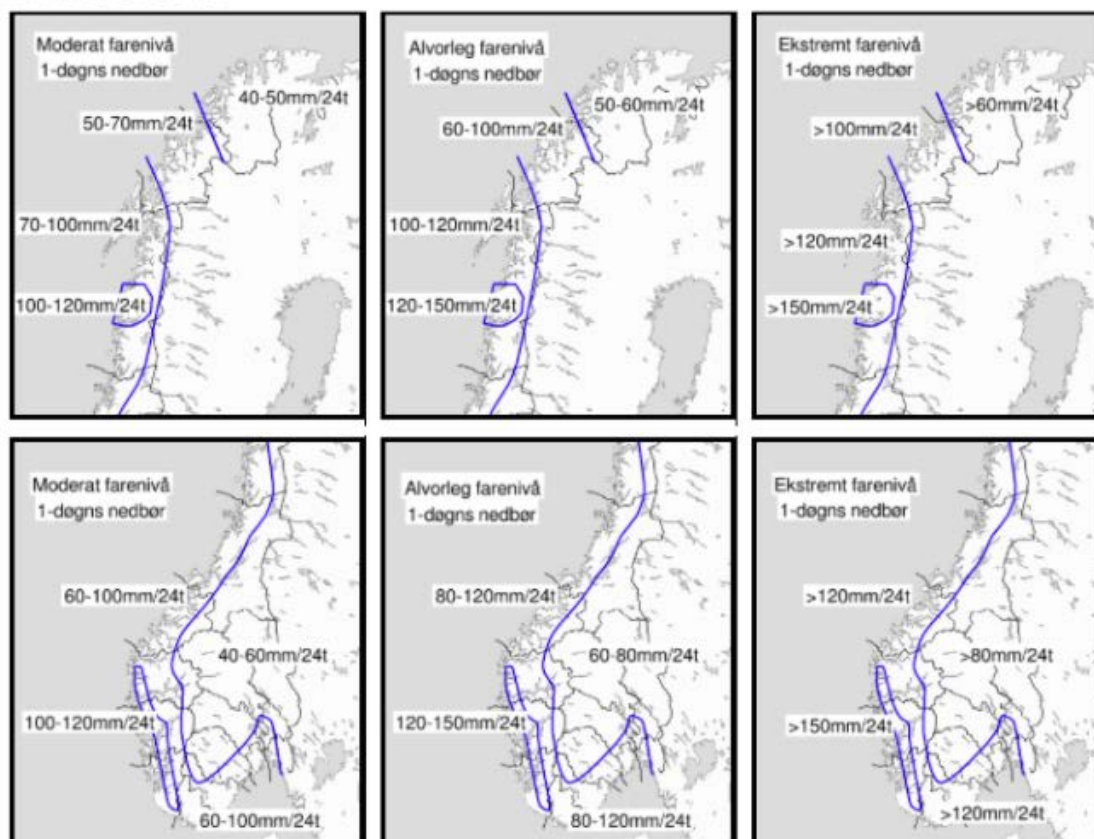
Figur 17 Anbefalte verdier for farevarsling på 3-timers nedbør.

6-timers nedbør



Figur 18 Anbefalte verdier for farevarsling på 6-timers nedbør.

24-timars nedbør

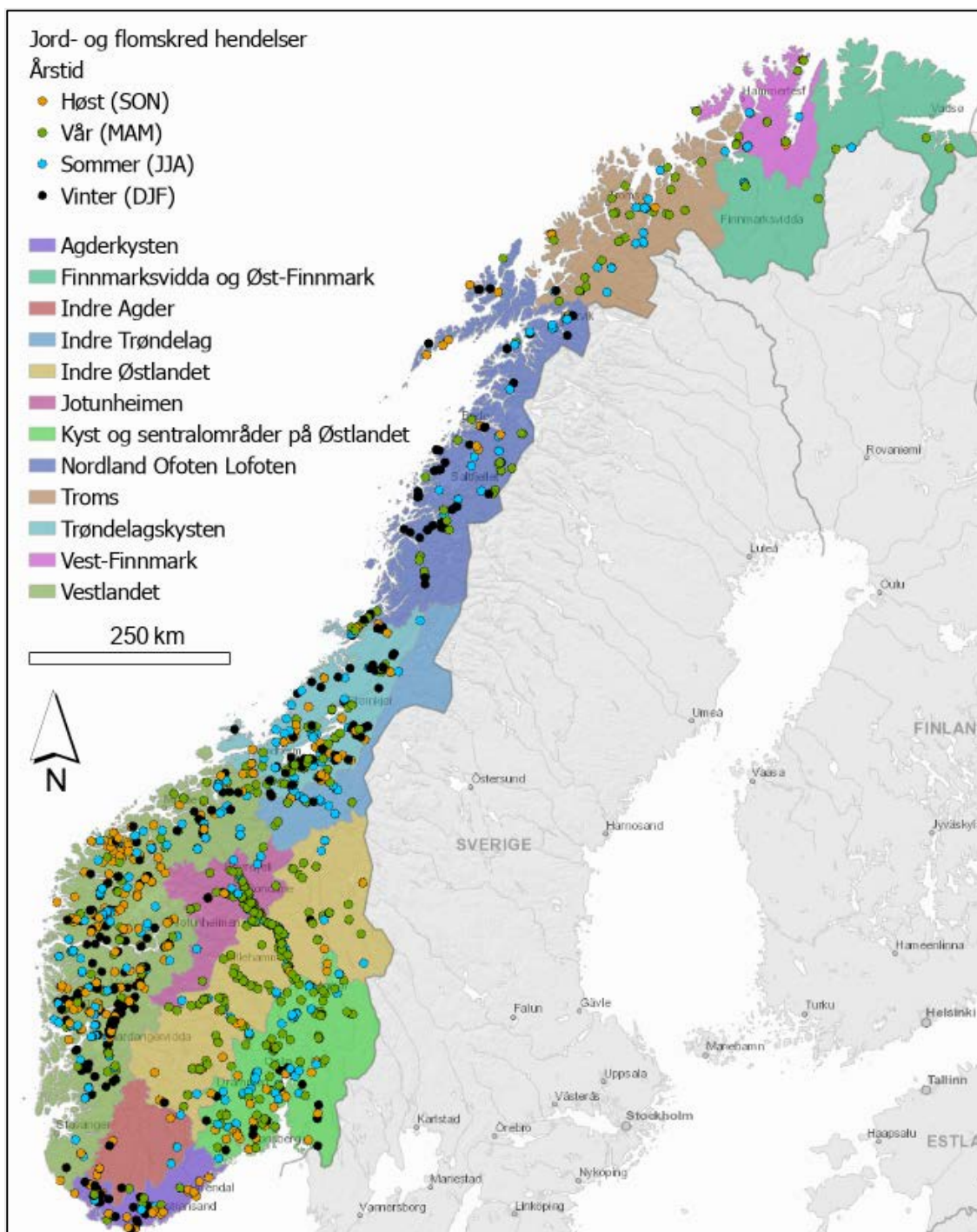


Figur 19 Anbefalte verdier for farevarsling på 1-døgns nedbør.

Vi antar at de fleste skredhendelser forekommer under ekstreme nedbørsepisoder, og verdiene benyttet av met.no i farevarslene gir en god indikasjon på kritiske nedbørintensiteter for å få utløst jord- og flomskred i ulike deler av landet.

5.1.6 Tidspunkt for skredhendelsene

Tidspunkt av skredhendelsene i forhold til årstider er vist i (Figur 20). Tydeligste mønster er at skred om vinteren gjerne skjer langs kysten fra Agder i sør til Nordland i nord. Skred om våren er mest vanlig på Østlandet og i indre strøk av Nord-Norge. Sommersesongen har ingen tydelige mønster, men skredene skjer mer eller mindre i hele landet. Hyppigst skredaktivitet på Vestlandet og i Trøndelag er i høstmånedene (september-november).



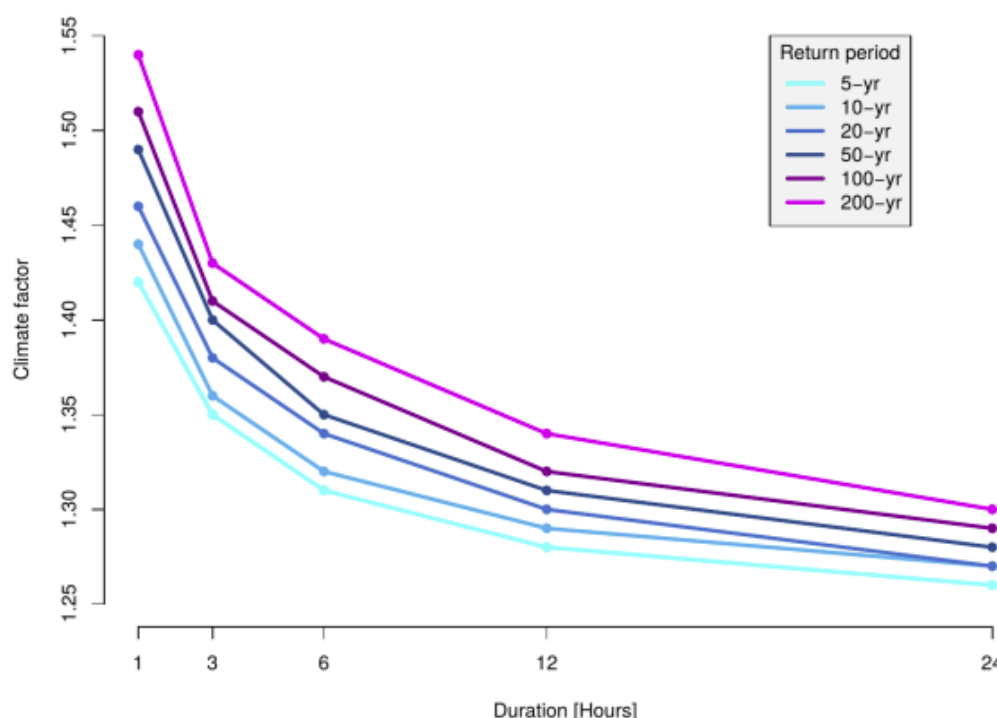
Figur 20 Jord- og flomskred hendelser farget etter årstid i de ulike klimaregionene, nivå 3.

6 Klimaendringer

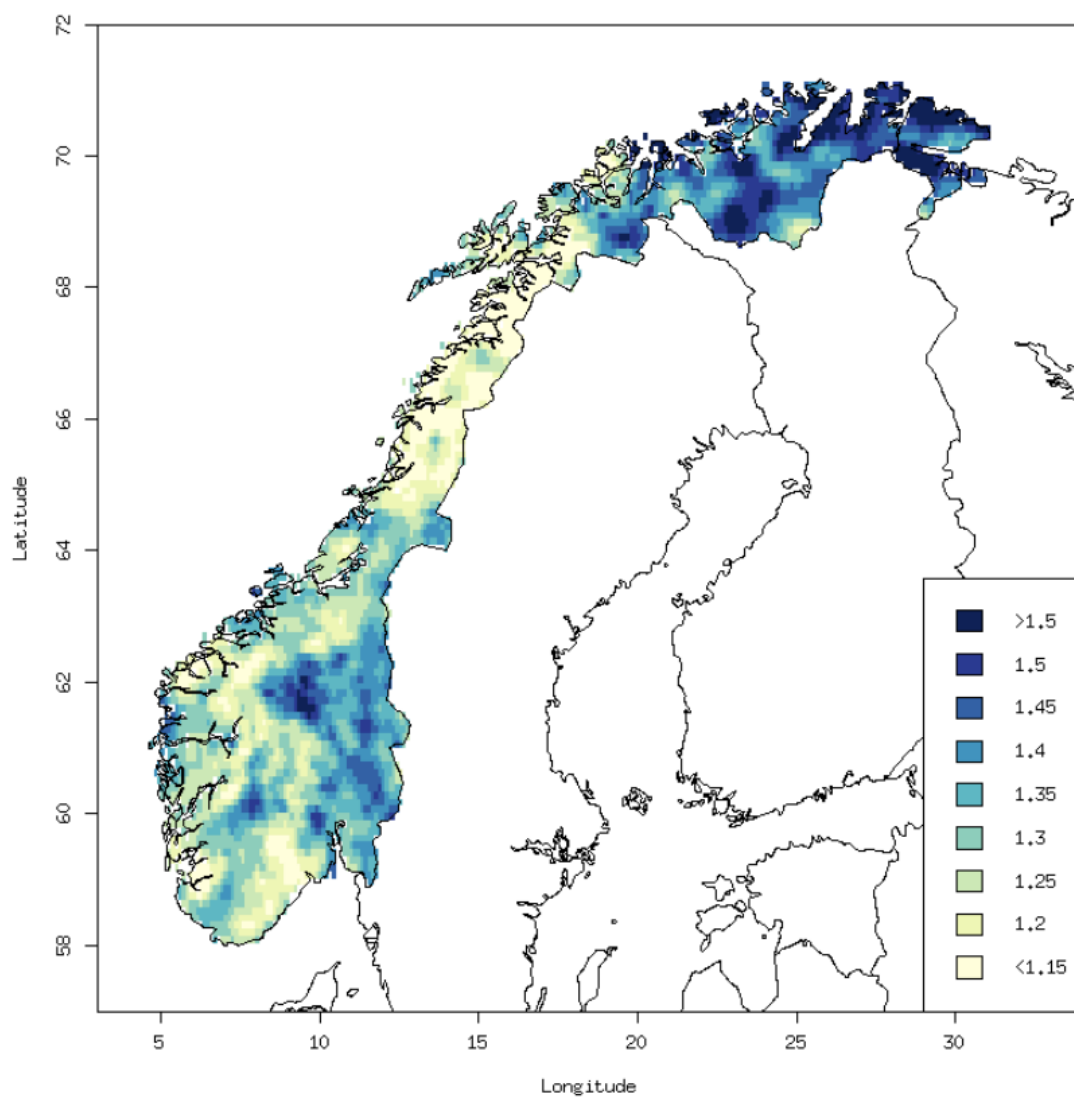
Norsk klimaservicesenter har utarbeidet kart som viser forventede endringer i nedbør og snømengde fram mot 2100. Klimaframskrivingene viser at nedbørmengdene vil øke, og særlig gjelder dette korttidsnedbør (Figur 21).

I og med at faren for jord- og flomskred i stor grad er avhengig av intensiteten på vanntilførsel må det forventes en økning i hyppigheten av jord- og flomskred i framtida.

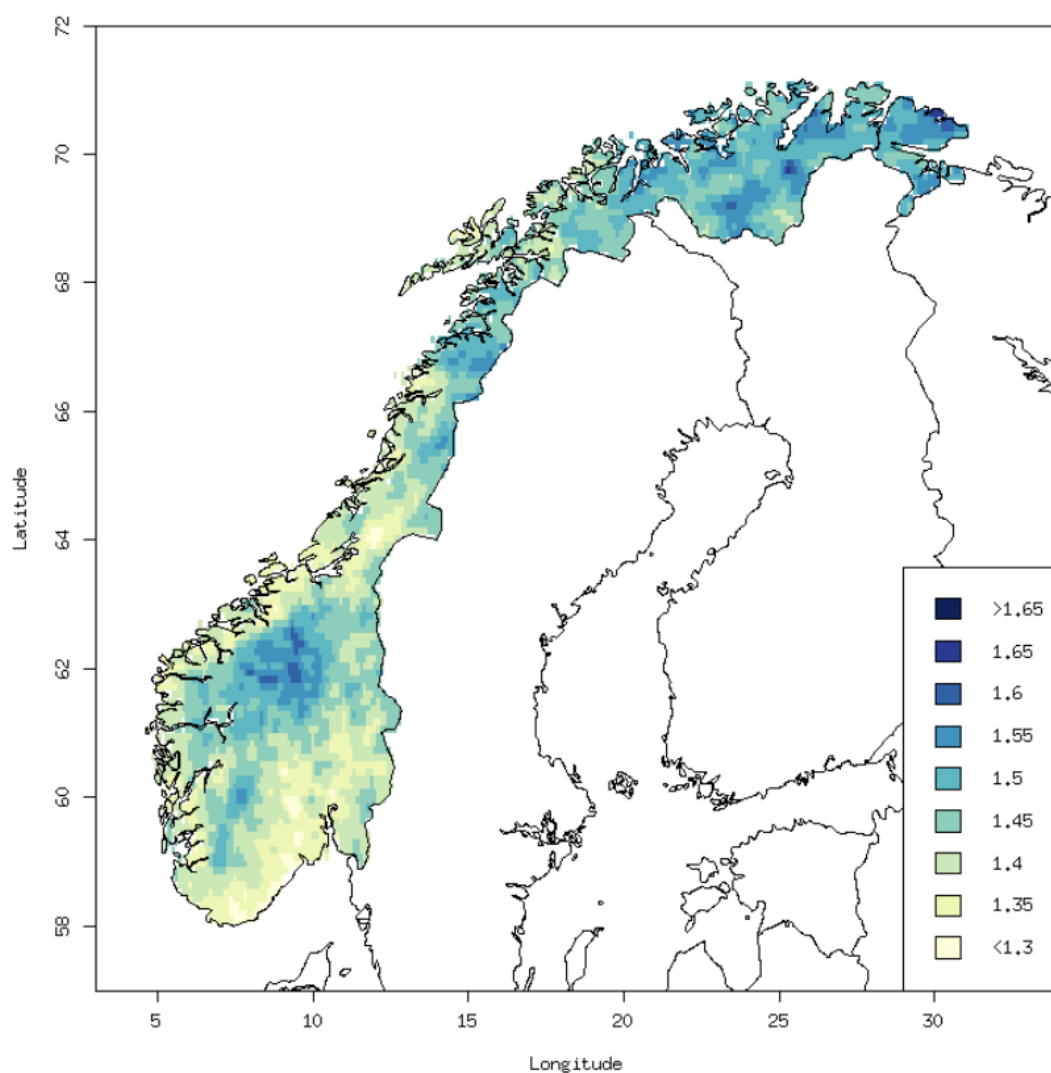
Endringene er ikke ventet å være like store over hele Norge. Den største økningen i døgnnedbør med 200-års returperiode er ventet på Østlandet og Jotunheimen, og i Troms og Finnmark (Figur 22). Økning i intens 1-timers nedbør med 5-års returperiode vil være stor i sentrale innlandsområder i Sør-Norge, særlig i området rundt Jotunheimen nedbørregion, samt i Nord-Norge nord for Saltfjellet (Figur 23). For mer sjeldne ekstreme 1-timers hendelser (200-års returperiode) er det ventet en vesentlig økning i hele landet, men størst i områdene hvor vi også ser økning i 5-års returperiode (Figur 24).



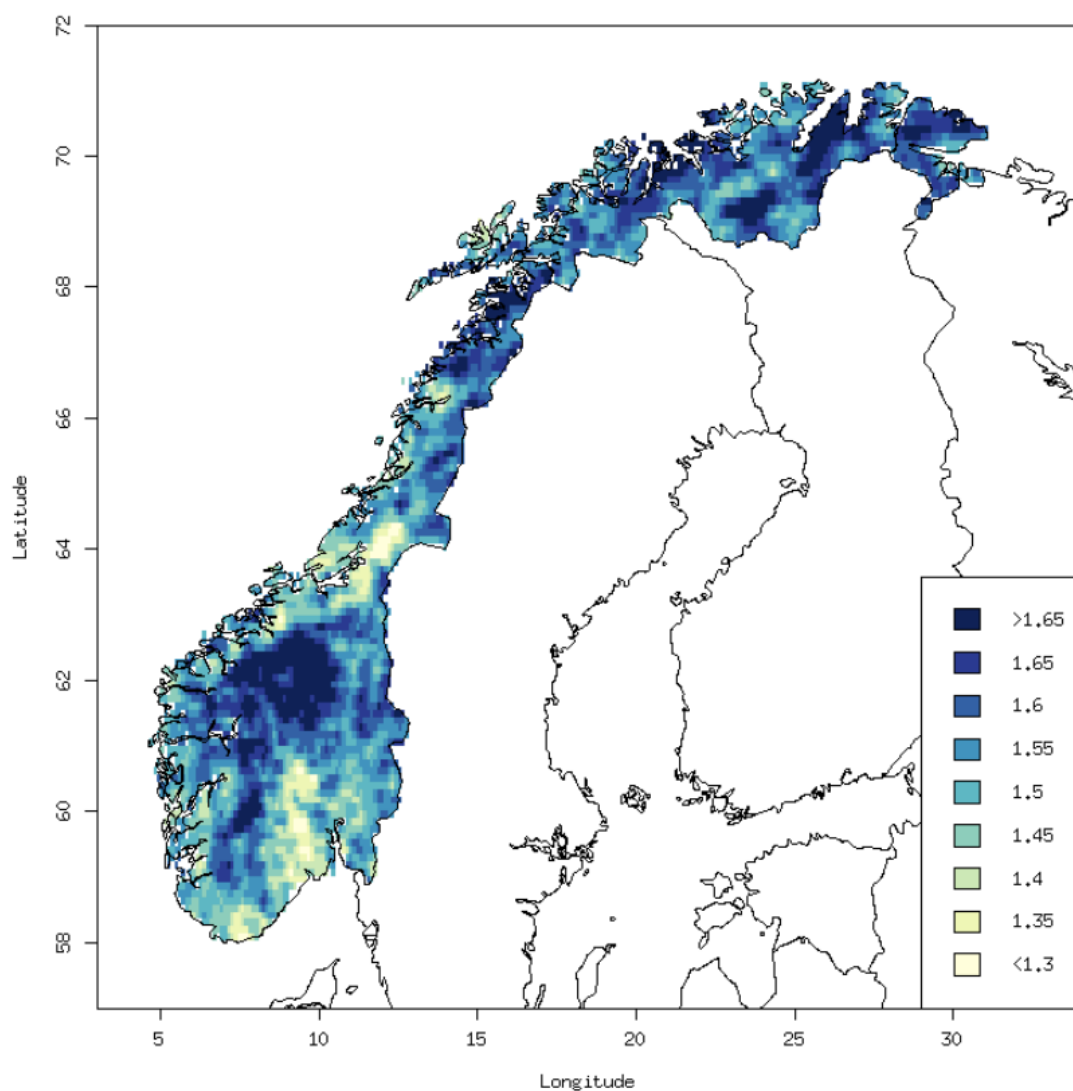
Figur 21 Nasjonale klimafaktorer for ulike varigheter (timer) og returperioder (år) basert på middel av klimafaktorer for alle gridpunkt over fastlands-Norge og alle simuleringer (Dyrødal og Førland, 2019).



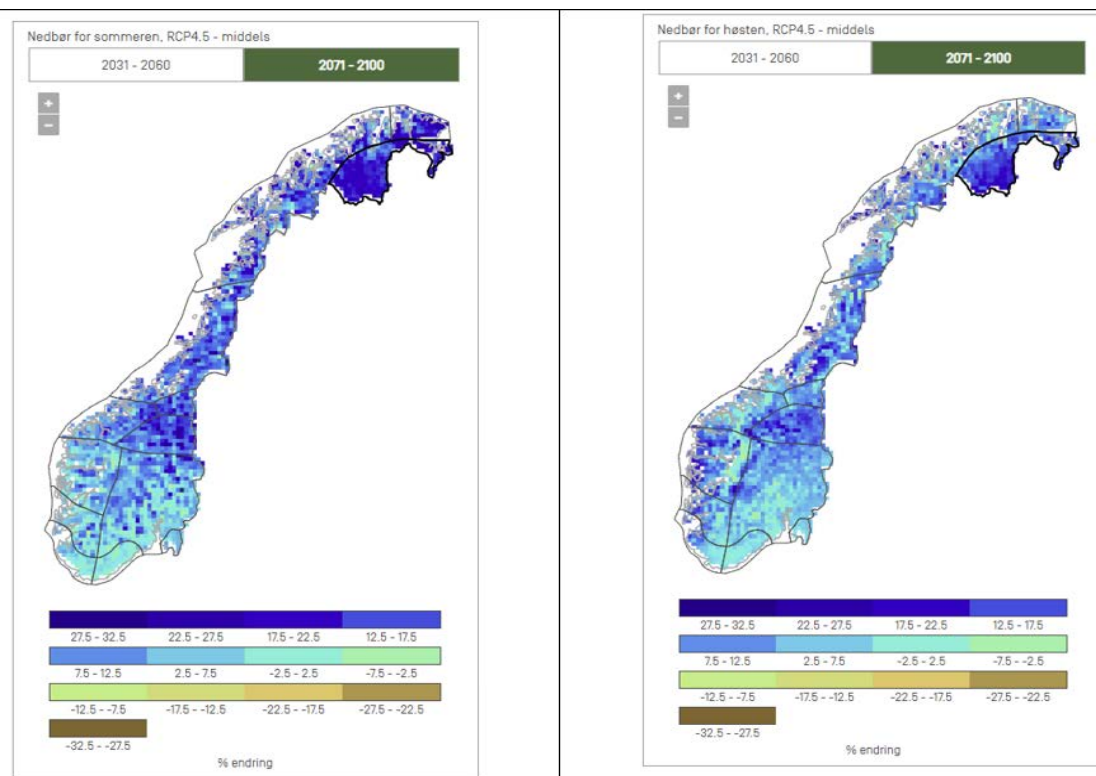
Figur 22 Middelvei av klimafaktorer for M200 og 24 timer, RCP8.5 (Dyrddal og Førland, 2019).



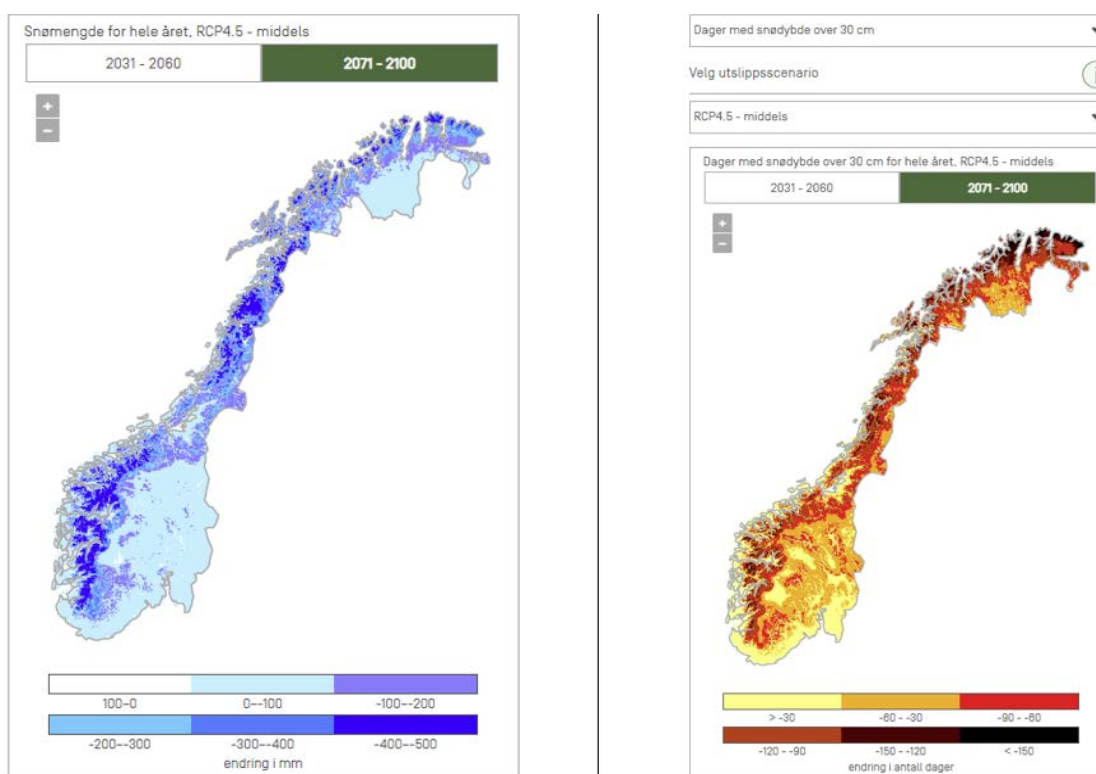
Figur 23 Middelerdi av klimafaktorer for M5 og 1 time, RCP8.5 (Dyrddal og Førland, 2019).



Figur 24 Middelerdi av klimafaktorer for M200 og 1 time (Dyrødal og Førland, 2019), RCP8.5.



Figur 25 Endring i sommer- og høstnedbør (Dyrrdal og Førland, 2019), RCP8.5.



Figur 26 Endring i snøforhold fram mot 2071-2100 (Dyrrdal og Førland, 2019), RCP8.5.

Figur 25 viser endringer i nedbørmengder for henholdsvis sommer og høst, og Figur 26 endring i snømengder og lengde på snøsesong fram mot år 2100 basert på klimascenariet RCP4.5-middels. De viktigste endringene med innvirkning på faren for jord- og flomskred kan summeres opp slik:

- Vinter- og vårnedbøren vil øke mest på Østlandet, Sørlandet og i indre Troms og Finnmark.
- Sommernedbøren øker mest i Trøndelag og Nord-Norge.
- Høstnedbøren øker mest på Vestlandet, Trøndelag, Nordland og indre Troms og Finnmark.
- Størst reduksjon i snømengde vil inntreffe på Vestlandet, i Nordland og ytre strøk av Troms og Finnmark.
- Antall dager med snø på bakken vil reduseres mest i fjordstrøkene langs hele vestkysten av Norge, spesielt lengst nord.
- Størst økning av nedbør vil skje i forbindelse med intens korttidsnedbør (1-3 timer) som øker opp mot 50%.

Ut fra dette vil vi anta at en større andel av jord- og flomskred vil bli utløst i forbindelse med intens bygenedbør sommerstid i fremtiden. Intense regnskyll vil føre til rask vannmetning i områder med tynt løsmassedekke, særlig der det ligger løsmasser nedenfor områder med berg i dagen.

Topografiske forhold som fører til at nedbørceller blir hengende fast på et bestemt punkt kan ha betydning for hvor intense byger kan oppstå. Muligens vil også innsjøer og vassdrag gi økt fare for konvektiv nedbør på grunn av større tilførsel av luftfuktighet.

Også døgnnedbør vil øke og føre til flere jord- og flomskred i forbindelse med varmfrontpassasjer, særlig i østre deler av Sør-Norge og i Troms og Finnmark.

7 Diskusjon

Hovedfunn av analysene er som følger:

- De fleste skredhendelser er knyttet til kritiske varigheter 6 og 24 timer (særlig på Vestlandet og i Trøndelag), men i mange tilfeller er også korttidsnedbør på 3 timer avgjørende (særlig på Østlandet, Troms og Trøndelag).
- Høyest forekomst av skred er på våren og sommeren på Østlandet og i Nord-Norge (kontinentale klimaområder), mens det langs kysten er mer vanlig med skred om høsten og tidlig vinter.
- Snøsmeltning ser ut til å være en viktig medvirkende årsak til skredutløsning om våren på Østlandet og i Nord-Norge, mens den spiller en viktig rolle på Vestlandet og i Trøndelag særlig på vinteren.
- Skred om vinteren forekommer langs hele kysten fra Agder i sør til Nordland i nord.
- Skred i sommersesongen, gjerne knyttet til korttidsnedbør er vanlig i hele landet.
- Skred om høsten er vanligst i Agder og på Vestlandet.

- De siste årene har kraftige regnskyll sommerstid hatt en økende tendens til å gi skred, og denne tendensen vil ventelig forsterkes i framtida.

Vi har forsøkt å summere opp disse funnene i Tabell 4.

Tabell 4: Typiske varigheter av kritiske nedbørhendelser og tidspunkt for skredhendelsene.

Region	Typisk kritisk varighet	Årstid
Agderkysten	6-24 timer	Alle
Indre Agder	6-24 timer	Sommer-høst
Kyst og sentralområder Østlandet	1-6 timer	Vår-sommer
Indre Østlandet	3-24 timer	Vår
Jotunheimen	Få hendelser	Vår-sommer
Vestlandet	6-24 timer	Sommer-høst-vinter
Trøndelagskysten	6-24 timer	Alle
Indre Trøndelag	6-24 timer	Alle
Nordland, Ofoten, Lofoten	6-24 timer	Vinter-vår-sommer
Troms	3-24 timer	Vår-sommer
Vest-Finnmark	6-24 timer	Vår-sommer
Finnmarksvidda og Øst-Finnmark	NA	Vår

Vi har i vår analyse ikke inkludert jordfuktighet, og det er grunn til å anta at kritisk nedbørintensitet er lavere dersom løsmassedekket er vannmettet på forhånd. Uansett må verdiene for kritisk nedbør vi har kommet fram til ikke benyttes som absolutte verdier. Det er grunn til å anta at benyttede nedbørdata fra de ulike kildene alle viser for lave verdier i forhold til aktuell nedbør på skredlokasjonene. Ekstremverdier som forekommer mellom målepunkter vil ikke reproduseres i interpolerte data (griddede data i Senorge), og nedbørshendelsen vil ikke nødvendigvis være like kraftig på værstasjonen som på skredlokaliteten. Radardata fanger opp lokale variasjoner, men disse finnes ennå ikke kalibrert for hele Norge, og absoluttverdier er derfor ikke benyttet i dette studiet.

Erfaringsmessig er det også mangler i skreddatabasen med angivelse av lokasjon for skredutløsning, tidspunkt og skredtype. Det finnes en kvalitetsgradering for skredhendelser i databasen, som tar hensyn til tidspunkt og enkelte andre kriterier. Denne ble forsøkt benyttet, men siden antall skred ble for lite som statistisk grunnlag ble det i stedet gjort en kvalitetsvurdering av samtlige skred for å vurdere om nedbørshendelsen ble antatt fanget opp i værddata. Dette ble gjort ved å sammenligne nedbør fra radar, og værstasjon og griddede data.

Våre analyser har i første omgang tatt sikte på å vise mønstre eller regionale forskjeller med hensyn på nedbør. Analysene viser at det ikke entydige forskjeller mellom regionene, men at alle regionene har et vidt spekter med tanke på varighet og tidspunkt på året. Likevel gir resultatene indikasjoner på at det regionale forskjeller, for eksempel at det er mer vanlig med langvarige nedbørsituasjoner på Vestlandet enn på Østlandet.

Likevel kan resultatene tyde på at topografiske og geologiske forskjeller har større betydning på regionale forskjeller i skredhyppighet enn det meteorologiske faktorer har. Vi vil også anta at tetthet av skog har stor betydning. Overrepresentasjonen av skredhendelser på Vestlandet kan likevel ha sin årsak i at denne klimaregionen har landets høyeste nedbørverdier, men kan like godt skyldes at området har mange bratte og høye fjellsider.

Det er også grunn til å anta at geotekniske egenskaper på løsmassedekket spiller inn på farenivået. For eksempel kan de mange skredene i Sel kommune skyldes forekomsten av bergarten fyllitt som gir opphav til finkornet forvittringsmateriale som har lett for å bygge opp porevannstrykk.

Også løsmassemektighet vil antageligvis påvirke kritisk nedbørintensitet. Trolig vil tynt løsmassedekke raskere blir vannmettet og derfor vil være mest utsatt ved kortvarig styrtregn, og da særlig sommerstid med ustabile luftmasser. Tykke løsmasser vil derimot bruke lengre tid på å bygge opp kritiske porevannstrykk, og vil derfor være avhengig av lengre nedbørsepisoder som ved varmfrontpassasjer særlig på høsten og tidlig vinter før de går til brudd.

For flomskred vil størrelsen og helningsforhold på nedbørfeltet ha stor betydning på kritisk varighet av nedbøren. Store og slake felt vil ha lengre responstid og kreve lengre nedbørhendelser for å gi flomskred enn små og bratte felt.

8 anbefalinger

Nedbør er den viktigste utløsende årsak for flom- og jordskredhendelser i Norge. Likevel er det store regionale forskjeller på hvor intens nedbør som sannsynlig gir skred. Siden landskapet har oppnådd en slags likevekt til typiske ekstreme nedbørsverdier, vil det generelt være slik at nedbørsverdier som er unormale basert på lokal ekstremverdifordeling av historiske nedbørsverdier vil gi fare for jord- og flomskred. Dette studiet viser at nedbør i forkant av registrert skred enten ikke var signifikant (muligens ikke fanget opp av værddata), eller når den var signifikant har den en returperiode over 200 år.

Forventet endring av ekstremnedbør frem til år 2100 basert på ulike klimascenario er analysert i Dyrddal og Førland (2019). Generelt sett forventes det en økning i ekstremverdier for nedbør i hele Norge for både 1-timers og 24-timers nedbør. Økningen i intensitet er relativt størst for de mest sjeldne hendelsene (200-års hendelser), og økningen er større for korttidsnedbør (1 time) enn for 24 timers nedbør.

8.1 Dagens situasjon

Nedbørhendelser som når en returperiode over 10 år vil typisk gi fare for utløsning av skred i dreneringsløp med tilstrekkelig nedslagsfelt og løsmasser tilgjengelig for erosjon.

Vi antar at topografiske, geologiske og vegetasjonsmessige forhold er viktigste forklaringsfaktorer for graden av skredfare.

Likevel kan man basert på historiske skredhendelser og tilhørende nedbørsdata gi noen generelle anbefalinger for hvordan man bør benytte klimadata i vurdering av fare for jord- og flomskred i ulike deler av landet.

Typisk varighet:

Generelt kan man si at de fleste skredhendelser er knyttet til kritiske varigheter på 6 og 24 timer (særlig på Vestlandet og i Trøndelag). For en del av disse hendelsene vil trolig langtidsnedbør også være en medvirkende faktor. Mange av disse skredene er knyttet til "ekstremvær" som treffer kysten av Sør- og Midt-Norge på høsten eller tidlig vinter. De kan være tilknyttet snøsmelting i høyereliggende områder. For disse områdene er det viktig å vurdere dreneringsløp med potensielt større nedslagsfelt, gjerne med en del av tilførselen fra høyereliggende områder med potensiale for snøsmelting.

Det finnes også eksempler på skredhendelser knyttet til korttids bygenedbør med typisk varighet 1-4 timer som for eksempel i Lom og Vågå i 2006 da det anslagsvis falt over 100 mm nedbør i løpet 2-3 timer. I Jølster i 2019 er det antatt at det falt over 80 mm i løpet av 4 timer. Ved slike nedbørintensiteter ville det sannsynligvis gå jord- og flomskred i mange løsmassedekkede skråninger som er tilstrekkelige bratte uavhengig av landsdel. Det er nettopp slike nedbørshendelser forbundet med ustabile luftmasser og høy lufttemperatur som kan se ut til å bli mer vanlig i framtida.

Sesongvariasjoner:

På Østlandet er den høyeste frekvensen av skred registrert på våren, ofte i forbindelse med snøsmelting i høyereliggende strøk, allerede snøsmeltingsflom i vassdrag, etterfulgt av intens 6-24t nedbør. I dette området er det viktig å se på dreneringsløp med tilførsel fra høyereliggende områder med snøsmelting sent på våren, områder som ligger i nærheten av de større flomutsatte vassdragene,

Snøsmelting:

Snøsmelting fører generelt til en rekke flom- og jordskred på våren, både i Nord-Norge, i Trøndelag og også på Vestlandet, foruten Østlandet som nevnt over. På Vestlandet er det relativt høy forekomst av jord- og flomskred som skyldes snøsmelting i desember. For alle områdene er det viktig å vurdere nedslagsfelt som ligger høyt og har potensiale for stort bidrag fra snøsmelting.

Korttidsnedbør:

Korttidsnedbør på 1-3 timer forekommer typisk i juli – august, og er avgjørende særlig på Østlandet, Troms og Trøndelag. Vi ser imidlertid eksempler på korttidshendelser i hele Norge. Ekstrem korttidsnedbør gir gjerne fare for jord- og flomskred i dreneringsløp med mindre nedslagsfelt med kort responstid, og gjerne i bratte skråninger med tynt løsmassedekke.

8.2 Klimaendringer:

Endring i døgnnedbør:

Den største økningen av ekstremer for døgnnedbør er på indre Østlandet, i Innlandet fylke, Jotunheimen og generelt Troms og Finnmark fylke. I disse områdene er det derfor avgjørende å være klar over at det vil være økt skredfrekvens, og at det kan gå skred på "nye" steder. Det er særlig viktig å være obs på dreneringsløp med noe større nedslagsfelt. Det er ikke ventet stor økning i intensitet av 24 timers nedbør på Vestlandet og i Trøndelag.

Endring i korttidsnedbør:

For korttidsnedbør øker intensiteten i nesten hele Norge, men mindre i sentrale og sørlige deler av Østlandet. For resten av Norge (særlig i områder med stor økning) er det avgjørende å være obs på relativt bratte dreneringsløp med kort responstid og tynnere løsmassedekke.

Hvor slike intense byger oppstår er litt tilfeldig uten at det er mulig å forutsi akkurat hvor og når, og det er umulig å angi en årlig sannsynlighet for at det skal skje på en bestemt lokalitet. Dersom det skal forutsettes at slike nedbørsituasjoner kan opptre hvor som helst i landet vil dette medføre at alle løsmasseskråninger brattere enn 25° må defineres som potensielle fareområder, og dette vil båndlegge store arealer med store samfunnsøkonomiske konsekvenser. Uten at det er registrert hendelser eller finnes spor etter tidligere skred synes det å være vel konservativt å inkludere slike områder i hvert fall innenfor faresonen 1/1000.

Endring i snømengder:

Total snømengde vil reduseres langs hele vestkysten av Norge. I disse områdene vil flom- og jordskredfare knyttet til snøsmelting trolig avta. De høyereliggende fjellområdene i Sør-Norge vil ha liten endring, og det er derfor ventet jordskredfare knyttet til snøsmelting disse områdene, og generelt i Øst-Norge vil være uendret.

Disse kommentarene er basert på dagens rapporter for klimapåslag for ekstremnedbør. Det vil komme nye, oppdaterte klimafremskrivninger, og det er viktig å holde seg oppdatert på dette på [Klimaservicesenteret.no](https://klimaservicesenteret.no).

9 Referanser

Boje S., Colleuille H., G. Devoli, 2014. Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. NVE/NIFS rapport 43-2014.

Boje, S., 2017. Hydrometeorologiske terskler for jordskredfare på Sørlandet og Østlandet. NVE rapport nr 64-2017.

Cepeda, J., Sandersen, F., Ehlers, L., Bell, R., De Luca, D. (2012). Probabilistic estimation of thresholds for rapid soil-slides and -flows in Norway. NGI rapport nr. 20110253-00-4-R, 14. September 2012. Norges Geotekniske Institutt, Oslo, Norge.

Cepeda, J. (2013a). Calibration of thresholds for Northern Norway - 2013. NGI dokument nr. 20120997-01-TN dated 4 March 2013. Norges Geotekniske Institutt, Oslo, Norge.

Cepeda, J. (2013b). Calibration of thresholds for Eastern Norway - 2013. NGI dokument nr. 20120997-02-TN dated 24 April 2013. Norges Geotekniske Institutt, Oslo, Norge.

Colleuille, H., Boje, S., Devoli, G., Krøgli, I.K, Engen, Sund, M., Skaslien, T., Humstad, T., Frekhaug, M., Wiréhn, P., 2017. Jordskredvarslingen. Nasjonal varslingsjeneste for jord-, sørpe- og flomskredfare. NVE rapport nr 75-2017.

Dyrrdal A. V. og Førland E.J., 2019. Klimapåslag for korttidsnedbør. Anbefalte verdier for Norge. NCCS report no. 5/2019.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., and Stark, C. P.: The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update, *Landslides*, 5, 3–17, <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>, 2008.

Meyer, N.K., Dyrrdal, A.V., Frauenfelder, R., Etzelmüller, B., Nadim, F. (2012). Hydrometeorological threshold conditions for debris flow initiation in Norway. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 12: 3059-3073.

Sandersen, F., Bakkehøi, S., Hestnes, E. and Lied, K. (1996). The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability. In: Senne set, K. (ed): *Landslides. Proceedings of the 7.th symposium on landslides*, Trondheim, 17-21 June 1996, pp. 97-114.

Segoni, S., Piciullo, L., and Gariano, S. L., A review of the recent literature on rainfall thresholds for landslide occurrence, *Landslide*, <https://doi.org/10.1007/s10346-018-0966-4>, online first, 2018a.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Jord- og flomskred. Klimaanalyse til bruk i faresonekartlegging		Dokumentnr./Document no. 20200323-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client NVE	Dato/Date 2021-03-20
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract NGI		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0 /
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords Jord- og flomskred, Terskelkverdier, Klima		

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 review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2021-03-17 Frode Sandersen	2021-03-19 Christian Jaedicke	Velg kontrolldato Ditt navn her	Velg kontrolldato Ditt navn her

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 20. mars 2021	Prosjektleder/Project Manager Frode Sandersen
--	-----------------------------------	---

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: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

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: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

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



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 509 I MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no