

Flom og skred – sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS)

.....

Beskrivelse av metodikk og resultater

*Bjørn Kalsnes, Anders Solheim, Kjetil Sverdrup-Thygeson, Fredrik Dingsør-Dehlin,
Jaran Wasrud, Kjetil Indrevær og Karin Bergbjørn*



NVE Rapport nr. 20/2021

Flom og skred – sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS) : beskrivelse av metodikk og resultater

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Prosjektleder: Jaran Wasrud

Forfatter: Bjørn Kalsnes (NGI), Anders Solheim (NGI), Kjetil Sverdrup-Thygeson (NGI), Fredrik Dingsør-Dehlin (PwC), Jaran Wasrud (NVE), Kjetil Indrevær (NVE) og Karin Bergbjørn (NVE)

Forsidefoto: Skredsikring i Kjøllefjord, Lebesby kommune Foto: Odd-Arne Mikkelsen/NVE

ISBN: 978-82-410-2127-5

ISSN: 1501-2832

Saksnummer: 202000001

Sammendrag: I prosjektet "Flom og skred – sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS)" har det blitt utviklet en metodikk som har gjort det mulig å analysere hvor mye det vil koste å sikre eksisterende bebyggelse i Norge mot flom og skred. Sikkerhetskravene i byggeteknisk forskrift (TEK17) er lagt til grunn for beregning av sikringsbehovet. Analysen viser at det vil koste rundt 85 milliarder kroner om alle bygg som er utsatt for skred i bratt terreng, flom, erosjon og kvikkleireskred skal sikres.

Emneord: Skredfare, flomfare, skredsikring, flomsikring, sikringsbehov

Norges 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

juni, 2021

Forord

NVE har siden 2009 hatt det overordnede ansvaret for statlige forvaltningsoppgaver med forebygging mot både flomskader og skredulykker. Det innebærer å yte hjelp til kommuner og samfunnet ellers med kompetanse og ressurser til kartlegging, arealplanlegging, sikring, overvåking, varsling og beredskap, samt arbeid for å øke kunnskapsgrunnlaget for ulike naturfarer generelt. I Norge er det kommunene som har ansvaret for den lokale beredskapen i medhold av sivilbeskyttelsesloven, og har etter plan- og bygningsloven ansvar for at det bare bygges på sikker grunn. NVE har det overordnede ansvaret for forebygging av skader som følge av flom og skred, herunder forvaltning av statens bistandsordning for sikring av eksisterende bebyggelse.

Arbeidet med sikring av eksisterende bebyggelse mot flom og skred har pågått i en årrekke, og klimaendringene vil gi stadig større utfordringer i dette arbeidet.

NVEs vurderinger av støtte til sikringstiltak mot skred og flom skjer i all hovedsak basert på innkomne søknader fra kommunene. Prioriteringen gjøres innenfor de til enhver tid gjeldende budsjетtrammer og utfra vurdert samfunnsøkonomisk nytte samt en særlig vurdering av risiko for liv og helse.

Vi har fram til nå ikke hatt en samlet oversikt over sikringsbehov for bebyggelse i Norge mot flom og skred. Listen som har blitt brukt, har vært ufullstendig og basert på kommunenes egne innmeldte søknader. NVE har derfor sett behovet for å få utarbeidet en metodikk for å kunne analysere det samlede sikringsbehovet mot flom og skred for eksisterende bebyggelse i Norge. Dette arbeidet ble igangsatt i 2019 og organisert som et NVE-prosjekt som startet opp primo 2020, kalt "Flom og skred – sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS)".

Denne rapporten presenterer resultatene fra prosjektet. Rapporten etablerer den første samlede oversikten over sikringsbehovet mot flom og skred for eksisterende bebyggelse i Norge. Rapporten redegjør også for metodikken for å kunne analysere samfunnets behov for sikring av eksisterende bebyggelse mot flom og skred i et endret klima. Metodikken skal kunne brukes og videreutvikles for nye behovsanalyser i årene fremover. NVE mottar gjerne innspill om metodikken fra eksterne fagmiljøer. Prosjektresultatene gir også et viktig kunnskapsgrunnlag for det videre arbeidet med en helhetlig kartleggingsplan for flom og skred.

Norges Geotekniske Institutt (NGI) og PricewaterhouseCoopers (PwC) har vært engasjert som rådgivere i prosjektet, og har utviklet metodikken og gjennomført analysene i nært samspill med NVE som oppdragsgiver og prosjektleder. Rapporten er skrevet sammen av NGI, PwC og NVE. En ekstern ressursgruppe med representanter fra KS, Finans Norge, DSB, Statens Vegvesen og Meteorologisk Institutt har også gitt verdifulle innspill til arbeidet.

Metodikken som er utviklet i dette prosjektet, gir statlige myndigheter, kommuner og næringsliv bedre kunnskap om naturfareutfordringene i et endret klima. Resultatene fra prosjektet gir forhåpentligvis et grunnlag for bedre å kunne vurdere bruk av samfunnets ressurser i arbeidet med å sikre bebyggelsen mot flom og skred.

Oslo, mai 2021

Kjetil Lund
Vassdrags- og energidirektør

Bright Samdal
Direktør for Skred- og vassdragsavdelingen

Dokumentet sendes uten underskrift. Det er godkjent i henhold til interne rutiner.

Sammendrag

I prosjektet "Flom og skred – sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS)" har det blitt utviklet en metodikk for bedre å kunne analysere det samlede behovet for sikringstiltak mot flom og skred av eksisterende bebyggelse i Norge. Tidsperspektivet er fram til 2100. Fjellskred er ikke tatt med i analysene. Det samme gjelder faretyper som stormflo, flodbølger fra skred i vann og sterk vind.

Dette er første gang det er utarbeidet anslag over det samlede sikringsbehovet for eksisterende bebyggelse i Norge. Anslått sikringsbehov er brutt ned på flom og skred og på landsdeler. Metodikken er på overordnet nivå og er ikke utviklet til å vurdere enkeltobjekter.

Sikringsbehovet er diskutert i et klimaperspektiv frem mot 2100 og med bruk av utslipps-scenariet RCP8.5 (høye utslipp), i tråd med Meld. St. 33 (2012–2013) *Klimatilpasning i Norge og Statlige planretningslinjer (SPR) for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning*. Valg av utslippssenario har i liten grad påvirket de samlede anslagene.

Det har vært nødvendig å gjøre en rekke forutsetninger og forenklinger i utvikling av metodikken, da det blant annet er store områder i Norge som ikke er farekartlagt.

Sentrale elementer i metodikken som er utviklet, er bruk av faresonekart og aktsomhetskart for de ulike naturfarene, oversikt over hvilken bebyggelse som ligger utsatt til, samt erfaringstall for hva det koster å sikre bebyggelse mot flom og skred.

Sikkerhetskravene i byggt teknisk forskrift (TEK17) er lagt til grunn for beregning av sikringsbehovet. Dette innebærer en sikring for definerte gjentakintervall for flom og skred for ulike typer bygg, typisk 200-års gjentakintervall for flom og 1000-års gjentakintervall for skred for bolighus. For kvikkleire, der sikringsbehovet ikke kan relateres til et gitt gjentakintervall, er sikringsbehovet vurdert utfra kriterier i NVEs veileder 1/2019 *Sikkerhet mot kvikkleireskred*.

Analysen viser at det vil koste rundt 85 milliarder kroner om bygg som er utsatt for skred i bratt terreng, flom, erosjon og kvikkleireskred, skal sikres. Av dette utgjør omtrent 45 prosent kostnader for sikring mot flom og erosjon og 55 prosent sikring mot skred. Det er betydelig usikkerhet rundt tallene, og laveste estimat på totalsum er 50 milliarder, mens høyeste estimat er 120 milliarder kroner.

Anslagene omfatter kostnader for sikring av eksisterende bebyggelse i Norge. Det er ikke justert for allerede gjennomførte sikringstiltak, og det er nok en rekke mulige sikringstiltak som det neppe vil være samfunnsmessig rasjonelt å gjennomføre, for eksempel svært kostbare tiltak knyttet til enkeltbygg.

På den andre siden er sikring av ny bebyggelse samt eksisterende fritidsbebyggelse, veger, jernbane og annen offentlig infrastruktur ikke med i analysen. Kostnader til forebyggende tiltak mot skader fra overvann er kun tatt med der slike tiltak er en nødvendig del av et sikringstiltak mot flom eller skred.

Analysen viser at man på lengre sikt kan forvente en viss økning av behovet knyttet til noen typer flom og de våte skredtypene, men noe reduksjon i behovet for flomsikring langs de store innlandsvassdragene som er mest påvirket av snøsmelteflommer og også mindre behov for snøskredsikring i lavereliggende strøk. Det er ikke lagt på noen endring i kostnad knyttet til klimaendringene, da usikkerheten i tallene er stor og det er mange andre forhold som vil påvirke både sikringsbehovet og kostnadene.

Enhetspriser for sikring mot flom og skred er dels erfaringstall fra NVEs regionkontorer og dels erfaringstall fra andre kilder enn NVE. Det er benyttet to typer enhetspriser: Enhetspris per bygg for sikring mot flom/skred og enhetspris per løpemeter for ulike sikringstiltak. Begge metodene er benyttet for å ha et best mulig grunnlag for beregning av total kostnader.

Metodikken bør videreutvikles i årene fremover, i takt med nye faresoneutredninger, videreutvikling av aktsomhetskart og etablering av nye sikringstiltak. Fremtidige analyser med oppdatert kunnskapsgrunnlag vil dermed gi mer presise tall for det totale sikringsbehovet mot flom og skred for eksisterende bebyggelse i Norge.

Hvor store samfunnsressurser som skal og bør brukes på å sikre av bebyggelse i tiårene framover, vil avhenge av en rekke forhold, som økonomisk utvikling, klimaendringer, vår holdning til risiko og ikke minst politiske prioriteringer. I et eget vedlegg er det foretatt en analyse av alternativkostnaden ved å la være å sikre bebyggelsen, som viser at man må forvente betydelige kostnader knyttet til flom- og skredhendelser i framtiden, men også at man må ha en bevisst prioritering av hvilke sikringstiltak som bør realiseres for at det skal være forsvarlig samfunnsøkonomisk.

Innhold

1	Innledning		6
2	Klimavurderinger		7
2.1	Utslippsscenarier, klimaframskrivninger og usikkerhet	7	
2.2	Forventede klimaendringer i Norge	8	
2.3	Klimaendringers effekt på faretyper	10	
3	Farevurderinger		19
3.1	Konseptuell tilnærming	19	
3.2	Beskrivelse av metodikk	20	
3.3	Sikringstiltak	25	
4	Metodikk for vurdering av områder med sikringsbehov		31
4.1	Metodikk for utvalg av bygninger	31	
4.2	Metodikk for beregning av lengde på antatt nødvendige sikringstiltak	35	
5	Enhetspriser		38
5.1	Enhetspriser fra NVEs regionkontorer	38	
5.2	Analyse av datagrunnlaget	39	
5.3	Enhetspriser for sikring per bygg	44	
5.4	Enhetspriser for sikring per løpemeter	45	
5.5	Usikkerhet i enhetsprisene	46	
6	Kostnadsanalyser		47
6.1	Beregninger basert på enhetspriser sikring per bygg, dagens klima	47	
6.2	Beregninger basert på enhetspriser per løpemeter, dagens klima	48	
6.3	Oppsummering	49	
7	Forhold som kan påvirke kostnadsestimatet		50
7.1	Klimaframskrivninger	50	
7.2	Mulig reduksjon av sikringsbehov og kostnader mot 2100	51	
7.3	Vedlikeholdsbehov	53	
7.4	Usikkerheter og begrensninger	53	
8	Anbefalinger for videre arbeid		56
9	Referanser		58

Vedlegg

Vedlegg A

Vedlegg B

Metodikk for farevurderinger

Samfunnsøkonomiske vurderinger ved sikring mot flom og skred

1 Innledning

Med overordnet ansvar for statlige forvaltningsoppgaver med forebygging mot flomskader og skredulykker, har NVE sett behov for, på et overordnet nivå, å fremskaffe en oversikt over sikringsbehovet mot flom og skred for eksisterende bebyggelse. Prosjektet "Flom og skred – sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS)", administrert av NVE Region Øst, har derfor hatt følgende mål:

- Utvikle metodikk for å analysere samfunnets behov for sikring mot flom og skred
- Framskaffe tall for samfunnets behov for sikringstiltak mot flom og skred
- Gi et oppdatert kunnskapsgrunnlag for det videre arbeidet med en helhetlig kartleggingsplan for flom- og skredfare
- Lage en rapport som redegjør for metodikk, resultater og anbefalinger om videre arbeid

Denne rapporten inneholder det konkrete resultatmålet for NVEs prosjekt: lage en rapport som redegjør for metodikk, resultater og anbefalinger om videre arbeid. Rapporten er i hovedsak utarbeidet av NGI/PwC, men i nært samarbeid med NVE.

Metodisk er det i utgangspunktet brukt samme mal for alle faretypene som er inkludert i disse analysene, kort oppsummert som følger:

1. Bruke GIS-metodikk til å identifisere områder som må sikres iht. prosjektets forutsetning om sikring til et nivå som tilfredsstiller kravene i byggteknisk forskrift, TEK17, og med dagens klima. Selve GIS-metodikken som er brukt varierer mellom de enkelte faretypene og er beskrevet senere i rapporten, samt mer detaljert i vedlegg A. Validering av resultater foregår ved sammenligning med eksisterende faresoner som er vurdert mer i detalj gjennom andre prosjekter via befaringer, beregninger og andre metoder.
2. Beregne antall eksisterende bygg som har lavere sikkerhet enn dagens krav til ny bebyggelse (kvantifisert i TEK17), og som derfor er aktuelle for sikring. I tillegg er tilhørende antall løpemeter sikringsbehov beregnet.
3. Foreta vurderinger av enhetspriser for ulike sikringstiltak for alle faretyper, delvis basert på innhenting av enhetspriser fra NVEs regionkontorer, og delvis basert på enhetspriser fra andre kilder (budsjetter, erfaringer). Disse enhetsprisene omfatter både kostnad per sikret bygg og per løpemeter sikring.
4. Gjennomføre kostnadsanalyser for hele landet med utgangspunkt i beregnet enheter (bygg, løpemeter) fra GIS-analysene og enhetspriser for de ulike sikringsalternativene.
5. Diskutere farevurderingene fra GIS-analysene, og påfølgende kostnadsestimat, i relasjon til forventede klimaendringer fram mot år 2100.

De enkelte bestanddelene i denne metodikken er beskrevet i rapporten. Rapporten inneholder også diskusjonskapitler knyttet til strategier for gjennomføring, samfunnsøkonomiske analyser og andre relevante faktorer for denne type beregninger, for eksempel relatert til nytte/kost-vurderinger, vedlikehold og oppgradering av sikringstiltak, faktorer som kan redusere sikringsbehovet, etc. Avslutningsvis inneholder rapporten et kapittel med noen anbefalinger om videre arbeid.

2 Klimavurderinger

Prosjektet skal vurdere sikringsbehovet fram mot slutten av dette århundret med bruk av utslippsscenarioet RCP8.5 (høye utslipp). Dette er i tråd med Meld. St. 33 (2012–2013) *Klimatilpasning i Norge og Statlige planretningslinjer (SPR) for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning*, og dekkes av Norsk klimaservicesenter (KSS) i deres analyser i beskrevet i rapporten *Klima i Norge 2100* (Hanssen-Bauer et al., 2015). Det er derfor naturlig å ta utgangspunkt i KSS sin rapport, som også inneholder regionale klimaframskrivninger.

De siste 100 årene har gjennomsnittlig årstemperatur i Norge økt med ca. 1 °C, mens årsmiddel nedbøren har økt med ca. 18 % (Hanssen-Bauer et al., 2015). Klimafremskrivningene tilsier at vi kan forvente fortsatt økning i temperatur og nedbør, i hele landet og for de fleste årstider, frem mot år 2100.

Kraftig nedbør, temperatursvingninger, vind og økt fare for flom, skred og andre naturfarer vil gi ekstra utfordringer for all infrastruktur og det bygde miljø. Dagens klima er allerede utfordrende, og klimaendringer frem mot år 2100 vil gi ytterligere utfordringer.

2.1 Utslippsscenarioer, klimaframskrivninger og usikkerhet

Klimaframskrivninger gir et bilde av hvordan klimaet vil se ut i fremtiden, basert på antakelser om utslipp av klimagasser og globale og regionale klimamodeller. Utslippsscenarioer beskriver forskjellige scenarioer for framtidig utvikling av globale utslipp av klimagasser og aerosoler. Utviklingen av disse utslippene er i stor grad avhengig av verdens befolkningsvekst, teknologiutvikling, næringslivsutvikling og politiske rammebetingelser.

Det er store usikkerheter knyttet til klimaframskrivninger. Klimamodellene inneholder i seg selv flere begrensninger og usikkerheter, som øker jo lenger fram i tid man lager prognoser. Dette kan være gale antakelser eller forenklinger i de enkelte modellene. Det er også usikkerheter knyttet til menneskeskapte utslipp, både når det gjelder framtidig økonomisk aktivitet, økning i folketall, valg av energikilder, energieffektivitet og andre samfunnsøkonomiske faktorer. Manglende kunnskap om naturlige klimavariasjoner, samt klimasystemets følsomhet kan også være kilder til feil. I klimasystemet er det både interne variasjoner og variasjon i naturlig pådriv. De interne variasjonene simuleres i stor grad av klimamodellene, og bruk av flere modeller gir derfor et bilde av denne usikkerheten. Variasjoner i naturlige klimaendringer er det derimot ikke tatt hensyn til, men dersom de ikke blir større enn de har vært de siste 100 år vil de ha relativt liten betydning for konklusjonene i dette arbeidet.

Til tross for alle usikkerhetene er klimamodellene bygget på det beste av informasjon tilgjengelig per dags dato. Ved å nettopp bruke flere klimamodeller sammen, samt beregne klimaframskrivninger for ulike utslippsscenario, tas det høyde for usikkerhetene, og klimaframskrivningene kan benyttes deretter. Når resultater fra flere klimamodeller benyttes, beregnes både middelverdier og spredning av resultatene. Median-framskrivningene gir 50-persentilet, altså resultatet som er "midt på" dersom resultatene sorteres i stigende rekkefølge. I de følgende beskrivelsene av forventede klimaendringer i Norge er det valgt å kun presentere klimaframskrivningsresultater fra medianframskrivningene for utslippsscenario "RCP8.5" (IPCC, 2014; Hanssen-Bauer et al., 2015). RCP8.5 er det utslippsscenarioet hvor det antas at utslippene av klimagasser fortsetter å øke helt fram til

slutten av århundret, såkalt "business as usual". I Meld. St. 33 (2012–2013) Klimatilpasning i Norge anbefales det å benytte dette utslippsscenariet som et "føre var"-prinsipp. Stortingsmeldingen sier videre at selv om man legger en høy framskrivning til grunn, skal også andre samfunnsmessige hensyn tas i planleggingsarbeidet. Dette innebærer at nytte/kost-vurderinger også bør gjøres i planlegging av klimatilpasningstiltak.

2.2 Forventede klimaendringer i Norge

Rapporten *Klima i Norge 2100* (Hanssen-Bauer et al., 2015) gir grunnlagsinformasjon for klimatilpasning i Norge. Med mindre andre referanser er gitt nedenfor, er informasjonen som er referert i dette kapitlet hentet fra denne rapporten, som oppsummerer dagens klima og klimautviklingen i Norge. Klimautviklingen frem mot år 2100 er beregnet med perioden 1971–2000 som referanseperiode. Det er stor usikkerhet knyttet til beregningene, men de gir likevel et klart bilde av hovedtrekkene i hvordan vi forventer at klimaendringene vil slå ut i Norge. Hovedtrekkene fra rapporten, for de klimaendringene som ansees å ha størst påvirkning på de vanligste naturfarene, er oppsummert nedenfor.

2.2.1 Temperatur

Årsmiddeltemperaturen i Norge forventes å øke med ca. 4,5 °C på 100 år. Større temperaturøkninger kan forventes i nordlige strøk. Det er dog viktig å huske at dette er i henhold til "business as usual" utslippsscenariet, RCP8.5, og ikke at man oppnår målsettingene med Parisavtalen. Prognosen kan derfor være for høy, men benyttes i henhold til "føre var" prinsippet. Temperaturøkningene medfører at en større andel av nedbøren vinterstid faller som regn, og snø-sesongen reduseres i hele Norge. Nedgangen i antall dager med snø blir størst i lavlandet, hvor det blir flere måneders reduksjon i snø-sesongen mot slutten av århundret. Det beregnes også en reduksjon i maksimal snømengde i løpet av året de aller fleste steder. Endringen er størst i høyereliggende områder på Vestlandet og i Nordland, samt kysten av Troms og Finnmark. For enkelte deler av høyfjellet beregnes imidlertid en økning i maksimal snømengde, fordi mye av den forventede nedbørøkningen her vil komme som snø. I tillegg vil temperaturøkninger medføre at grensen for permafrost vil stige med 200–300 høydemeter på 100 år, slik at vi mot slutten av århundret kun vil ha permafrost på de høyeste toppene både i Sør- og Nord-Norge. Dette kan medføre økt skred- og erosjonsproblematikk i områder som ikke tidligere har vært like utsatt for dette. Når det gjelder flom, vil endringer i temperatur føre til tidligere vårflommer, samt at faren for flommer sent på høsten og om vinteren øker.

2.2.2 Nedbør

For nedbør er det forventet en økning i både årsnedbør, antall dager med kraftig nedbør og av intensiteten av kraftig nedbør. For årsnedbør er det ventet en økning på 18 % mot slutten av århundret, og en økning i nedbørmengden på dager med kraftig nedbør på 19 %. Økningen i intens nedbør for kortere varigheter enn ett døgn kan bli vesentlig større. For eksempel er 3-timers nedbør med 5-års gjentaksintervall beregnet å øke med hele 35 %. Enkelte studier viser at vi kan forvente en sterk økning i intensitet og mulig en nærmest dobling i hyppighet, av de mest ekstreme nedbørhendelsene (Myhre et al., 2019; Hansen-Bauer et al., 2015).

Økte nedbørmengder vil generelt føre til hyppigere tilfeller av flom og skred. Skredfare er avhengig av lokale terrengforhold, men været er en vanlig utløsningsfaktor. Spesielt i bratt

terreng og i mindre nedbørfelt med rask responstid kan flere og kraftigere lokale, intense nedbørepisoder gi økt hyppighet av skred. Det gjelder først og fremst jordskred, flomskred og sørpeskred. Økt erosjon som følge av hyppigere og større regnflommer, kan utløse kvikkleireskred, men her er usikkerheten høy, og mange slike skred ville trolig skje uansett, men kan fremskyndes av økt flomfrekvens. I tillegg vil økt avrenning og vann på avveie medføre større fare for erosjon og sedimenttransport, særlig i små nedbørfelt. Dette kan være en minst like stor utfordring som flomvannføringen, og fører ofte til økt fare for gjentetting av stikkrenner og dreneringsveier, samt vannrelaterte løsmasseskred.

Det forventes en økning av flommer i regnflomdominerte elver, mens elver som er dominert av snøsmelting vil generelt ha flommer som avtar i størrelse på lang sikt. For de store vassdragene dominert av snøsmelteflom i innlandet, er det forventet en reduksjon i vårflommene på opptil 50 %. I vassdrag dominert av regnflom, kan flomstørrelsene komme til å øke med opptil 60 % (NVE 2016).

2.2.3 Vind

Modellering og observasjoner viser liten endring i vindforhold. Det har vært en svak økning i hyppighet av kraftig vind de siste 50 år, men det er store variasjoner fra år til år, og mellom ulike deler av landet. Beregninger av hvordan stormbaner og polare lavtrykk flytter seg med et endret klima har store usikkerheter og varierende resultater, men slike forflytninger vil uansett kunne medføre lokale endringer både i vindstyrke og vindretning. Ellers viser klimamodellene liten eller ingen endringer i midlere vindstyrke frem mot 2100, selv om enkelte analyser antyder at vi kan få kraftig vind oftere (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Selv om modellene viser liten endring i vindforhold, kan selv små endringer i midlere vindforhold ha store konsekvenser. Norge er et værutsatt land, og vindforholdene påvirker alt fra nedbørforhold, til ising, og fare for skred. De fleste skader knyttet til vind kommer fra kraftige vindkast, og endringer i vindforhold kan medføre at bygninger og infrastruktur i fremtiden er utsatt for kraftigere vindkast, og fra andre vindretninger, enn det opprinnelig var konstruert for. Vind med snødrift vil også gi økt fare for snøskred i le-skråninger der snøen avsettes. I tillegg vil kraftig vind kunne føre til steinsprang utløst av rotvelt.

2.2.4 Havnivå og stormflo

Framskrivningene for havnivå indikerer at Norge vil oppleve at havet vil stige mellom 15 og 55 cm avhengig av hvor man er. For eksempel er det beregnet ca. 20 cm for Oslo, for Trøndelagskysten ca. 30 cm og for Bergen og Stavanger ca. 50 cm havnivåstigning. I Honningsvåg er estimatet ca. 40 cm (Hanssen-Bauer et al., 2015; Simpson et al., 2015).

Stormflo er en situasjon der ekstra høy vannstand oppstår ved sammenfall mellom astronomisk høyvann og meteorologiske faktorer som pålandsvind og lavtrykk. Stormfloen kan bli ytterligere styrket ved springflo.

Temaet havnivå og stormflo er ikke inkludert i FOSS-prosjektet, utover at oversvømmelse som følge av stormflo er inkludert i elvers utløpsområde for flomsonekartlegginger utført før 2018.

2.3 Klimaendringers effekt på faretyper

2.3.1 Snøskred og sørpeskred

Snøskred er et naturlig fenomen som oppstår hver vinter i alle områder der det er nok snø og terrenget ligger til rette for snø- eller sørpeskred. Etter nye beregninger med programmet NAKSIN (Kap. 3.2) er ca. 18 % av fastlands-Norge innenfor aktsomhetssoner for snøskred. I noen skredområder løsner det skred hvert år, mens det i andre kan gå for eksempel 10, 50, 100 eller enda flere år mellom hver gang det utløses skred. De fleste snøskred oppstår på grunn av naturlige forhold, basert på et komplekst samspill mellom snø, vær og terreng, men snøskred kan også utløses av skiløpere eller annen trafikk i et ustabilt område. I denne rapporten omtales bare naturlig utløste snøskred.

2.3.1.1 Årsak til snøskred og sørpeskred

Snøskred blir vanligvis utløst fra terreng med helning 30–60° der skogen ikke står for tett. Sannsynligheten for utløsning er først og fremst avhengig av intensiteten på snøtilveksten, og skredene blir gjerne utløst under uvær med kraftig snøfall og sterk vind. En viktig forutsetning for skredutløsning er at det finnes svake lag nede i snødekket, som ofte blir dannet under langvarige kuldeperioder. Også kraftig temperaturstigning kan føre til skred.

Sørpeskred blir utløst som følge av at snødekket blir vannmettet på grunn av intens snøsmelting, eventuelt i kombinasjon med regn. Også styrken til snødekket har betydning. Størst fare oppstår når værsituasjoner med store mengder løst bundet nysnø blir etterfulgt av mildvær med kraftig regn og vind. Sørpeskred kan utløses i langt slakere terreng enn snøskred, når topografiske og værmessige forhold ligger til rette. De følger oftest forsenkninger og bekkedrag, gjerne de samme banene som flomskred.

2.3.1.2 Effekt av klimaendringer på snø- og sørpeskred

Nedbørintensitet, vind og snødybde er de tre viktigste klimaparametere som er relevante for snøskred. Temperatur er en annen viktig parameter ettersom langvarige kuldeperioder kan føre til ustabil lagdeling i snødekket. Økende temperatur vil derimot hovedsakelig føre til hyppigere stabilisering av snødekket.

Nedbørintensitet i form av regn om vinteren er en viktig klimaparameter for sørpeskred. I tillegg vil graden av snøsmelting spille en viktig rolle, og denne er avhengig av temperatur, vindhastighet og luftfuktighet.

Det beregnes en betydelig reduksjon i snømengde og antall dager med snø i lavereliggende områder, særlig i kystnære områder, og dette vil redusere faren for skred ved at snødybden og lengden på vinteren blir vesentlig redusert (Figur 2.1). Høyereliggende fjellområder kan få økte snømengder frem mot midten av århundret. Etter dette forventes at økt temperatur etter hvert vil føre til mindre snømengder også i de fleste av disse områdene.

I mer kontinentale områder (i indre strøk) er det forventet at lengden på vinteren avtar, men hyppigheten på situasjoner med skredfare innenfor denne perioden kan muligens øke som følge av økt nedbør i form av snø, eventuelt i kombinasjon med vind. Man antar også en gradvis overgang fra tørre snøskred til våte skred pga. høyere temperaturer. Det må også forventes en økning av antallet sørpeskred. Høyere temperatur vil også føre til en heving

av tregrensen, og dette vil på sikt redusere skredfaren i områder der utløsningsområdene i dag ligger nær dagens skoggrense.



Figur 2.1 Endring i antall dager med snødekke fra 1971-2000 til 2071-2100 for utslippsscenario RCP8.5. (Norsk klimaservicesenter)

2.3.2 Steinsprang og steinskred

Steinsprang karakteriseres vanligvis som utfall av enkeltblokker, med volumer opp til 10 000 m³. Steinskred karakteriseres som større hendelser, med volumer opp til 100 000 m³. Skred med volumer over dette karakteriseres som fjellskred. Fjellskred er ikke inkludert i analysene i denne rapporten, da det ikke er noe grunnlag for å beregne sikringskostnader knyttet til fjellskredfare. I dette arbeidet er det kun sett på skred fra naturlig terreng, og ikke på utfall fra kunstige skjæringer.

2.3.2.1 Årsak til steinsprang og steinskred

Følgende mekanismer for utløsning av skred i fast fjell er beskrevet av Domaas & Grimstad (2014):

- *Vanntrykk på sprekkeflater:* Vanlig utløsningsårsak for steinsprang, da vanntrykket både direkte kan utløse skred, og redusere skjærmotstanden slik at en stabil bergmasse blir ustabil. Store nedbørsmengder over kort tid kan øke sannsynligheten for utløsning. I tillegg kan snøsmelting bidra til økte vannmengder i kombinasjon med nedbør.

- *Frostsprenghing*: Prosessen foregår ved at vann fryser i sprekker nær overflaten. Ved at prosessen gjentar seg, kan sprekker utvide seg, og blokker gradvis forskyves slik at de kommer i en ustabil posisjon. Historisk sett er dette trolig den viktigste utløsningsmekanismen for steinsprang, og trolig hovedgrunnen til at største konsentrasjon av hendelser er i vår- og høstmånedene. Frostsprenghing har størst påvirkning i perioder der temperaturen svinger mye rundt frysepunktet.
- *Rotsprengning (og rotvelt)*: Kapillærkrefter i røttene kan sprengne ut blokker ved å utvide sprekker. Oftest skjer steinsprang utløst av rotsprengning i månedene mai – juli, under vekstsesongen da røttene vokser mest. I tillegg kan i utgangspunktet stabile blokker i terrenget påvirkes av rotvelt og settes i bevegelse.
- *Kjemisk forvitring*: Dette er en langsom prosess. Kjemisk forvitring foregår både på sprekkeoverflater, langs svakhetssoner og på bergets overflate. Det kan også forekomme omvandling av kjemisk ustabile mineraler langs sprekkeplan, som kan redusere sprekkeplanets friksjon.
- *Erosjon*: Erosjon kan undergrave skråninger og gjøre dem ustabile.
- *Jordskjelv*: Jordskjelv kan utløse de fleste typer skred. Historiske data indikerer at dette kan ha vært en utløsende faktor også i noen norske skredhendelser, men dette er en vanligere utløsningsfaktor for steinsprang i mer jordskjelvutsatte områder.
- *Menneskelig aktivitet*: Rystelser fra sprengning, gruvedrift, endring av elveløp/-dreneringsveier og endring av skråningsgeometri er eksempler på aktiviteter som kan påvirke stabilitet i berg.

2.3.2.2 Effekt av klimaendring på steinsprang og steinscred

Det er gjort relativt lite forskning på hvordan klimaendringer vil påvirke hyppigheten av steinsprang og steinscred. Man antar lite påvirkning til noe økt hyppighet, men usikkerheten er stor. Nedbør er den potensielt skredutløsende faktoren som vil påvirkes i størst grad av klimaendringene. Potensielt kan rotsprengning øke noe grunnet en lengre vekstsesong. Påvirkningen av klimaendringer på frostsprenghing er usikker, da frostsprenghing ikke er antatt påvirket av gjennomsnittstemperaturen, men av svingninger rundt 0 grader. At den antatt største faktoren ikke påvirkes i betydelig grad frem til 2100, gjør at vi forventer en mindre økning i aktivitet, og dermed i sikringskostnader enn vi gjør for eksempel for flom og jordskred.

Det har gjennom forskningsprosjekter som CryoWALL (<https://www.mn.uio.no/geo/english/research/projects/cryowall/>) vært fokus på hvordan tining av permafrost vil påvirke større skred som steinscred og fjellskred. Det er enighet om at tining av permafrost kan reaktivere bevegelse der strukturene i fjellet ligger til rette for utgliding fra tidligere. Effekten på mindre volum er derimot lite belyst i dag.

Klimaendringers påvirkning på steinsprang og steinscred er et tema det fortsatt er behov for ytterligere forskning på. Det er med dagens kunnskap urealistisk å gjøre et godt estimat av prosentvis økning i aktivitet for steinsprang og steinscred frem mot 2100.

2.3.3 Jord- og flomskred

Flomskred er løsmassescred med et så stort vanninnhold at løsmassene begynner å flyte. Slike skred utløses oftest i forbindelse med kraftig nedbør og/eller snøsmelting, og er oftest kanaliserte, dvs. at de følger bekkeløp eller markerte forsennkninger i terrenget. Jordskred skiller seg fra flomskred ved at løsmassene sklir, faller og ruller, med kontakt mellom

partiklene, fremfor å flyte eller strømme. Jordskred fører til at sedimenter, organisk jord, vegetasjon og vann raser ut, slik at det dannes tydelige skredarr i løsmassedeckket.

Siden de fleste dalsider i Norge der jord- og flomskred kan forekomme, er dekket av morene fra siste istid, består skredmassene fra disse skredtypene oftest av usorterte løsmasser.

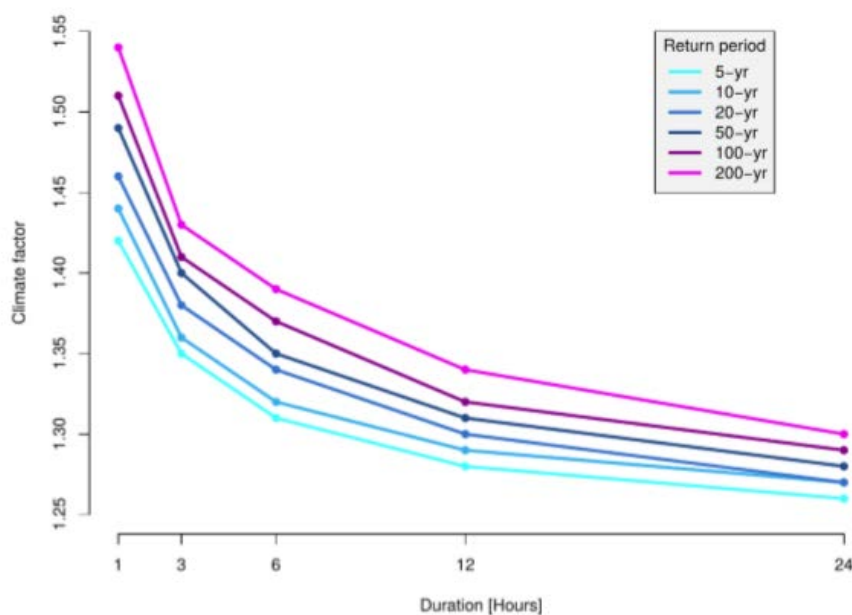
2.3.3.1 Årsak til jord- og flomskred

Sannsynligheten for jord- og flomskred er avhengig av intensiteten på tilførsel av vann. Tilførsel av vann kan skje ved nedbør som regn, ved snøsmelting, samt ved regn og snøsmelting i kombinasjon. Som regel er skredene utløst ved intense nedbørepisoder på sommeren i form av kraftig og lokal bygenedbør, eller om høsten og vinteren ved mer langvarige nedbørperioder, men både varighet og intensitet av utløsende nedbør varierer regionalt i landet (NGI, 2021).

2.3.3.2 Effekt av klimaendringer på jord- og flomskred

I et framtidig klima vil nedbørmengdene øke, og dette vil øke hyppigheten av jord- og flomskred. Av særlig stor betydning antas økningen av lokale og intense regnbyger på sommerstid med varighet 1–3 timer å være, noe som særlig vil påvirke mindre og bratte nedbørfelt. For større nedbørfelt er det mer langvarig nedbør av typisk varighet 6–12 timer eller mer som vil ha betydning, men også nedbør med denne varighet vil øke i hyppighet og intensitet.

For korttidsnedbør med varighet 3 timer, har Norsk klimaservicesenter anslått en økning av nedbørintensitet på 40 % fram mot år 2100 (Dyrørdal & Førland, 2019). For kortere varighet er det forventet enda større økning (Figur 2.2, Tabell 2.1). Episoder med stor vann-tilførsel pga. snøsmelting vil derimot avta, særlig i lavereliggende strøk langs kysten.



Figur 2.2 Nasjonale klimafaktorer (klimapåslag), Tabell 2.1 for nedbør ved ulike varigheter (timer) og gjentaksintervall (år), basert på middel av klimafaktorer for alle gridpunkter over fastlands-Norge, og alle simuleringer (Dyrørdal & Førland, 2019)

Tabell 2.1 Anbefalte klimapåslag for 1-24 timers nedbør (Norsk klimaservicesenter, 2020)

	Dimensjonerende gjentakintervall < 50 år	Dimensjonerende gjentakintervall ≥ 50 år
≤ 1 time	40 %	50 %
>1 – 3 timer	40 %	40 %
>3 – 24 timer	30 %	30 %

Trolig vil den største økningen av nedbør som kan utløse jord- og flomskred, oppleves i forbindelse med kortvarige og intense byger i sommer- og høstmånedene, men også vinter-sesongen vil få større skredhyppighet fordi det blir flere perioder med mildvær, regn og snøsmelting. Mange flomskredutsatte bekkeløp kan også oppleve situasjoner med sørpeskred dersom det ligger snø i løpet.

2.3.4 Kvikkleire

Kvikkleire (eller sprøbruddmateriale, heretter referert til som kvikkleire) er en leire som er avsatt i saltvann med mineralkornene i en intern gitterstruktur (korthus-struktur). Deretter har salt blitt vasket ut av ferskt grunnvann etter at landområdene hevet seg over havnivå etter siste istid. Når saltet som sørger for elektrostatiske bindinger mellom leirpartiklene er vasket bort, er gitterstrukturen ustabil, og leiren er blitt kvikk. Kvikkleire finnes altså kun i det som er definert som marine sedimenter, dvs. under marin grense (så høyt havet maksimalt nådde under avsmeltingen etter siste istid). Nivået på marin grense varierer i Norge. Den er lavest i sørvest der tykkelsen av innlandsisen var minst, og høyere jo nærmere is-maksimum man kommer. For eksempel er marin grense ca. på dagens havnivå på Jæren, men den er ca. 220 meter over dette på Østlandet.

Kvikkleire har i omrørt tilstand en skjærfasthet $c_{u,r} < 0.5$ kPa (i henhold til Norsk Standard - NS8015). I de senere år har man for praktisk vurdering av kvikkleireskred innført begrepet sprøbruddmateriale, som er definert som løsmasser (leire og silt) som utviser en utpreget sprøbruddoppførsel, dvs. en betydelig reduksjon i styrke og store deformasjoner når løsmassene belastes utover sin maksimale styrke (NVE, 2019). I kvikkleireveilederen av 2019 er sprøbruddmateriale definert med en omrørt skjærfasthet $c_{u,r} < 2$ kPa (NS8015) og sensitivitet $St > 15$ (forholdet mellom skjærfasthet av intakt og omrørt materiale). Dette er dog et definisjonsspørsmål, og grensene for hva som betraktes for sprøbruddmateriale kan med tiden endres. Det sentrale er at kvikkleire eller sprøbruddmaterialer blir mer eller mindre flytende ved omrøring.

På grunn av kvikkleiras egenskaper er konsekvensene av kvikkleireskred langt større enn for vanlige løsmasseskred, fordi store arealer kan rammes av et kvikkleireskred, med skredet i Gjerdrum kommune 30. desember 2020 som det seneste eksemplet på dette. I tillegg kan skredmassene etter et kvikkleireskred "flyte" langt, slik at utløpsområdet kan bli svært stort. Dette gjør at det stilles ekstra strenge krav ved utbygging i områder med potensiell fare for kvikkleireskred.

Dette arbeidet vurderer videre kun sikring i forhold til naturlig utløste kvikkleireskred, og følgelig er ikke skråninger med lav stabilitet, men som ikke har noen naturlig forverring, belyst videre.

2.3.4.1 Årsak til kvikkleireskred

I forbindelse med utløsning av kvikkleireskred opererer man gjerne med to kategorier: naturlige og menneskeskapte utløsningsmekanismer. Av naturlige utløsningsmekanismer kan nevnes økt poretrykk i grunnen, for eksempel grunnet langvarig nedbør (oftest i kombinasjon med andre forverrende faktorer) og, fremfor alt, erosjon langs vassdrag. Av menneskeskapte utløsningsmekanismer kan nevnes oppfylling i topp av skråninger, utgraving i bunn av skråninger, eller annen anleggsvirksomhet.

L'Heureux et al. (2018) har foretatt en statistisk gjennomgang av utløsningsmekanismer for større kvikkleireskred ($> 50\,000\text{ m}^2$) i Norge etter 1950. Det dreier seg om i alt ca. 550 skred. Dette studiet viser at mens det i den første delen av perioden etter 1950 i stor grad var naturlige utløsningsmekanismer som utløste skredene, har de aller fleste skredene i de senere årene årsak i menneskelig aktivitet; på 1970-80-tallet gjerne knyttet til jordbruksplanering, i de siste 10–20 årene til anleggsvirksomhet. I denne perioden har det gått i snitt mellom 1 og 2 større kvikkleireskred i året. Det var en klar nedadgående tendens fram til ca. 2010. I perioden fra 2010 til 2018 har det vært relativt mange større kvikkleireskred, i hovedsak (så mye som 90 %) forårsaket av menneskelig aktivitet (L'Heureux et al., 2018). Dette kan tyde på behov for å bedre forståelsen av regelverket blant så vel planleggere som entreprenører.

2.3.4.2 Effekt av klimaendringer på kvikkleireskred

Kun et fåtall av potensielle utløsningsmekanismer for kvikkleireskred er i realiteten klimarelaterte. Kvikkleire dannes ved at salt i leiras porevann vaskes ut. Dette er en prosess som tar hundre- til tusenvis av år og som har foregått det meste av tiden etter siste istid. Kraftige regnskyll vil derfor ikke føre til mer kvikkleire. Indirekte kan likevel hyppigere og mer intens nedbør ha en effekt, fordi det kan føre til vannmetning i de øvre jordlagene og større vannføring i elver og bekker. Dette kan igjen føre til økt erosjon og flere mindre overflateskred, som igjen kan utløse større kvikkleireskred (NVE, 2019).

Økte vannmengder og økt strømhastighet kan potensielt øke faren for erosjon langs vannveier, dersom det ikke gjennomføres tiltak for å redusere faren for erosjon. I tillegg kan vi forvente økt erosjon i fremtiden som følge av kortere og mildere vintre og dermed mulighet for pågående erosjon gjennom større deler av året.

For at det skal gå et kvikkleireskred, må en normalt ha lokale grunnbrudd som påvirker kvikkleira og fører til lokal kollaps av materialet og videre utvikling av kvikkleireskredet. Basert på modellering av erosjon i to tilfeller, har DiBiagio (2020) vist at relativt små erosjonsvolum kan føre til betydelige skred. Kvikkleireskred utløst av erosjon utvikler seg ofte retrogressivt, dvs. at et initialskred (f.eks. relatert til erosjon) fører til videre utvikling av skredet bakover i skråningen. Som L'Heureux et al. (2018) viser, er det imidlertid kun et begrenset antall av kvikkleireskredene i perioden 2010–2018 i Norge som skyldes erosjon (eller andre klimarelaterte årsaker). Noe av dette kan muligens skyldes at det er utført en del erosjonssikring, men det kan også diskuteres hvorvidt klimaendringer (mer nedbør) faktisk vil påvirke denne situasjonen i nevneverdig grad. Likevel er de tilfellene man kjenner, samt usikkerhetene knyttet til koblingen med klimaendringer, grunn nok til å

øke fokuset på erosjonssikring og eventuelle flomdempende tiltak i forbindelse med utbygging i kvikkleireområder.

2.3.5 Flom

2.3.5.1 Årsak til flom

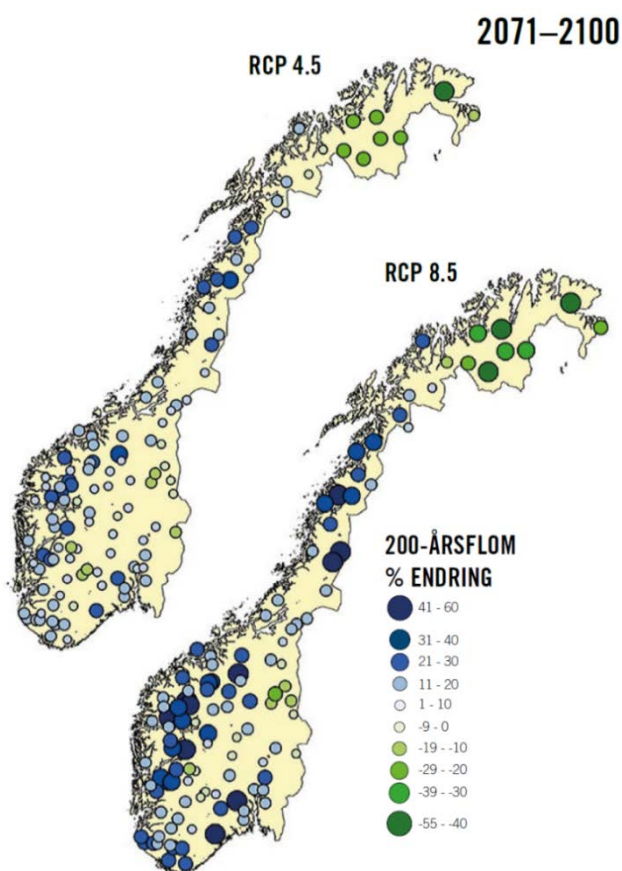
I Norge er det vanlig med vårfloam på grunn av snøsmelting. Slike snøsmeltingsflommer kan vare i 2–3 uker eller mer, og er mest typiske og regelmessige i indre strøk. Snøsmelting har en typisk døgnvariasjon på grunn av lufttemperaturen, noe som også vises i flomforløpet. Regn under snøsmeltingen vil øke flommen; ikke så mye fordi regnet smelter snøen fortere, men ved at den totale vannmengden som må ledes vekk øker.

Mange store flommer i Norge er rene regnflommer, men de største flommene har ofte bidrag fra både regn og snøsmelting. Regnflommer kan ha svært kort varighet dersom de skyldes bygenedbør, men kan bli intense med rask økning av vannføringen, særlig i små vassdrag. Intens bygenedbør kan gi svært høye døgnverdier for nedbør. Snøsmelting gir vanligvis lavere døgnverdier for vanntilførsel, men effekten gjør seg ofte gjeldende over store områder.

2.3.5.2 Effekt av klimaendringer på flom

Høyere temperatur og økt årsnedbør forventes som følge av klimaendringer. Flomregimet vil påvirkes direkte av dette, men påvirkningen er noe nyansert. Det forventes blant annet økt avrenning om vinteren, men noe redusert om sommeren (NVE, 2016), og disse endringene er i hovedsak styrt av økende temperatur. Smelteflommen forventes å bli dempet pga. mindre snømengder, men det vil komme mer nedbør i form av regn i vinterhalvåret. Dette kan medføre hyppigere flomhendelser i vintermånedene enn i dag.

Generelt vil flomstørrelser øke med økt nedbør ved framtidens klima, men det er også forventet en reduksjon i store elver i noen innlandsområder (Figur 2.3 Prosentvis endring i 200-årsflom for perioden 2071–2100 i forhold til 1971–2000 for modellerte klimautslippsscenario: RCP4.5 (middels utslipp) og RCP8.5 (høyt utslipp). (NVE, 2016)) fordi det der er snøsmelteflommer som dominerer i dag, og snømengdene kan bli vesentlig redusert i fremtiden. Flomberegninger for 200-års flom i 2100 basert på klimaframskrivninger med høye klimagassutslipp, viser endringer på fra ca. -40 % til ca. +40 % i flomstørrelse, med kraftigst økning på Vestlandet, i Sør-Norge og i Nordland, og reduksjon i nordlige deler av Innlandet og i indre deler av Finnmark. I tillegg viser analysen at alle små elver kan forvente økning i størrelsen på regnflommer som skyldes intenst kortvarig regn.



Figur 2.3 Prosentvis endring i 200-årsflom for perioden 2071–2100 i forhold til 1971–2000 for modellerte klimautslippsscenario: RCP4.5 (middels utslipp) og RCP8.5 (høyt utslipp). (NVE, 2016)

2.3.6 Erosjon

Erosjon omfatter alle geologiske prosesser som sliter ned jordoverflaten og flytter materiale fra ett sted til et annet. Man skiller ofte mellom elveerosjon, breerosjon, vinderosjon og bølgeerosjon. I dette arbeidet diskuteres kun elveerosjon, som skjer i alle elver og bekker, og pågår i større eller mindre grad kontinuerlig. Vannets erosive kraft avhenger av strømningshastigheten og kornfordelingen av løsmassene på bunnen og ellers der elva kan erodere. Vi ser her bort fra erosjon i fast fjell, som er en svært langsom prosess. Gitt vannhastighetens betydning er terrenghelningen en viktig faktor, samt hvordan elva svinger. Vannet vil oppnå høyere hastighet i yttersvinger og derfor erodere mest der, mens det ofte foregår avsetning i innersvinger. Erodert materiale transporteres enten som bunntransport eller suspendert i vannet, og avsetning skjer der vannhastigheten avtar i tilstrekkelig grad.

Erosjon kan i seg selv føre til stor skade, som vi har en rekke nyere eksempler på, blant annet i Flåm, Voss, Lærdal, Odda og andre steder i Sogn og Fjordane i oktober 2014, da hus, jordbruksarealer og infrastruktur ble ødelagt av flom og erosjon. I både 2011 og 2013 gjorde flom med tilhørende erosjon og massetransport i Veikleåa stor skade i Kvam i Gudbrandsdalen. Avsetning av eroderte og elvetransporterte sedimenter kan videre føre til endring og heving av elvebunnen, noe som igjen kan forsterke effekten av flommer lokalt.

I tillegg kan erosjon i områder med kvikkleire være en direkte utløsende årsak til kvikkleireskred. Dette kan være begrensede enkelthendelser, men som kan foregå over lang tid og føre til et initialskred, som igjen kan være starten på en retrogressiv utvikling av en

større skredhendelse. Skredet på Byneset i Trondheim 1. januar 2012 er et relativt ferskt eksempel på dette.

2.3.6.1 Effekt av klimaendringer på erosjon

Gitt den direkte koblingen mellom erosjon og vannhastighet, er det også en direkte kobling til flom og dermed til klima, slik at områder med økt flom vil også ha økt erosjon. I og med at mange deler av landet vil oppleve hyppigere og mer intense ekstremnedbørshendelser, vil også små og bratte vassdrag med rask responstid få hyppigere flommer og dermed økt erosjon. I noen tilfeller vil flom i små og bratte bekker bli så masseførende at de utvikler seg som flomskred.

3 Farevurderinger

3.1 Konseptuell tilnærming

Aktsomhetskart viser potensielle fareområder. Faregraden er ikke tallfestet og kartene gir derfor ikke opplysninger om sannsynlighet eller gjentakintervallet for den eller de faretypene som kartet viser. Aktsomhetskartene har ulik detaljeringsgrad, avhengig av hvilke metoder og ressurser som er brukt i utarbeidelsen.

I faresonekart er den reelle faren kartlagt. Faren er her undersøkt nærmere ved hjelp av befaringer, modeller og målinger. Faregraden er tallfestet med opplysninger om gjennomsnittlig årlig sannsynlighet eller gjentakintervall for de faretypene kartet handler om. Det er tegnet faresoner som viser utstrekningen av faren ved ulike sannsynligheter/gjentaksintervaller, oftest opp mot sikkerhetskravene gitt i TEK17 kapittel 7.

Så gode farevurderinger som mulig vil være et nødvendig grunnlag for å vurdere sikringsbehov for bygninger i Norge og å beregne kostnadene knyttet til dette. Optimalt burde hele landet vært faresonekartlagt, men slik er det ikke.

For skred i bratt terreng er kun ca. 0,4 % (1324 km²) av landet faresonekartlagt. For kvikkleire har en kartlagt ca. 80 % av arealet som ansees relevant å kartlegge (18749 km²) i forhold til NVEs kartleggingsplan fra 2011 (NVE, 2011). Dette utgjør om lag 6 % av fastlands-Norge. Det bør her bemerkes at dette er en ganske grov kartlegging av større områder. I de tidligste kartleggingene ble noen av sonene definert uten at det ble gjort grunnundersøkelser (boringer).

For flom finnes faresoner i hovedsak rundt de store vassdragene i områder som i dag har høy risiko (risiko = sannsynlighet x konsekvens). I videre kartleggingsplaner for perioden 2021-2025 prioriterer NVE oppdatering av eksisterende flomsoner framfor ny kartlegging. Dette skyldes at de viktigste strekningene, som er store vassdrag med høyest flomfare, er dekket. Oppdateringene vil innebære å benytte bedre terrengdata, samt forbedringer av metodikk og det hydrologiske og hydrauliske datagrunnlaget. Man vil også prioritere utvikling av metodikk og verktøy for kartlegging av flomfare i små og bratte vassdrag (NVE, 2020).

Aktsomhetskart for snøskred, steinsprang og jord- og flomskred finnes for hele landet, og alle vannveier har aktsomhetssoner for flom. Aktsomhetskartene og faresonekartene, der de finnes, danner det viktigste datagrunnlaget for den samlede farevurderingen. For kvikkleire finnes ikke tilsvarende utviklede aktsomhetskart, men NGUs kart "mulighet for marin leire" er anbefalt av NVE som aktsomhetsområde i arealplansammenheng for å definere hvor marin leire kan påtreffes. I dette prosjektet brukes nevnte kart fra NGU som bakgrunnsinformasjon, og det er utviklet en særskilt metode for å definere aktsomhetsområder for naturlig utløste kvikkleireskred til videre analyser. For flom finnes aktsomhetskart for hele landet, mens faresoner er kun kartlagt langs noen (de største) av vassdragene.

De opprinnelige landsdekkende aktsomhetskartene, som har vært tilgjengelige i over 10 år (steinsprang fra 2009 og snøskred fra 2010), er generelt konservative (angir mange steder aktsomhetsområder som er urealistisk store). Dette gjelder særlig snøskredkartet. De er basert på relativt grove terrengmodeller og var i hovedsak laget for å anvendes i

målestokker som ikke er finere enn 1:50.000. De er ikke befart i felt, men bygger på terrengmodellene og empirisk-statistiske utløpsmodeller for skred. Varierende klimaforhold og effekter av vegetasjon har ikke vært inkludert.

Flere aktiviteter vil forbedre aktsomhetskartene i årene som kommer, og et første initiativ er å kjøre snøskredmodellen NAKSIN (**N**ye **A**ktsomhets**K**art for **S**nøskred **I** Norge) for hele landet. NAKSIN tar bedre hensyn til klimaforhold og skog (Vedlegg A). Aktsomhetskart vil uansett alltid være forholdsvis konservative, og i dette arbeidet er forskjellige optimaliseringsmetodikker benyttet, som beskrives i avsnittene nedenfor og i Vedlegg A. Hensikten med disse optimaliseringene er å gjøre aktsomhetskartene mer realistiske, men de vil fortsatt være beheftet med store usikkerheter.

Vi har videre benyttet forholdet mellom begge typer kart, "nye" aktsomhetskart for snøskred og steinsprang, samt eksisterende aktsomhetskart for mellomstore flomskred og faresonekart, i den videre beregningen av sikringsbehov for bygninger som ligger utenfor områder som er faresonekartlagt. Tilsvarene metodikk er benyttet for flom, der forhold mellom faresoner og aktsomhetssoner, der begge finnes, er benyttet. For kvikkleire er aktsomhetskart for naturlig utløste skred beregnet på bakgrunn av terrenghelning, relieff, beregnet dreneringsmønster, overflategeologi, avstand til vassdrag samt beliggenhet under marin grense. Disse er så igjen vurdert sammen med kartlagte faresoner der disse finnes, for å etablere metodikk for å beregne antall bygninger og løpemeter med sikringsbehov. For erosjon finnes ingen aktsomhetskart, og en egen metodikk for beregning av aktsomhetssoner for erosjon er utviklet i prosjektet.

Et vesentlig aspekt som ikke er inkludert i metodikken, er effekten av eksisterende sikrings tiltak. Dette er hovedsakelig på grunn av at databasene for sikringstiltak pr. i dag er lite egnet for de GIS-analysene som er benyttet i prosjektet. De har svært varierende informasjon om sikkerhetsnivå, sikret areal, og de inneholder ikke alle tiltak mot flom og skred som sikrer bebyggelse. Dette diskuteres også senere i rapporten (Kap. 7).

3.2 Beskrivelse av metodikk

Tabell 3.1 gir en oversikt over datagrunnlag og metodikk som er brukt for utvikling av aktsomhetsområdene for de ulike faretypene. En mer detaljert beskrivelse for de ulike faretypene er gitt nedenfor og i Vedlegg A.

Tabell 3.1 Oversikt over datagrunnlag og metodikk for estimering av aktsomhetsområder

Faretype	Detaljkartlegging (begrensede områder)	Landsdekkende (for FOSS)
Snøskred	Faresoner bratt terreng	NAKSIN (kjørt for FOSS-prosjektet)
Steinsprang	Faresoner bratt terreng	Rockyfor3D (kjørt for FOSS-prosjektet)
Jord- og flomskred	Faresoner bratt terreng	Aktsomhetskart (NVE) for mellomstore flomskred
Kvikkleireskred	Faresoner kvikkleire	Ny metodikk utviklet i FOSS-prosjektet
Flom	Faresoner flom	Aktsomhetskart for flom (NVE)

Erosjon	Ikke kartlagt	Ny metodikk utviklet i FOSS-prosjektet
Alle typer		Tidligere hendelser (NVE, NGI)

3.2.1 Vurdering av snøskredfare

3.2.1.1 Aktsomhetskart - formål og metodikk

Aktsomhetsområder for snøskred (<https://temakart.nve.no/tema/SnoskredAktsomhet>) viser potensielle utløsningsområder og utløpsområder for snøskred. Datasettet er tilpasset bruk sammen med N50 (1:50 000) bakgrunnsdata, og nøyaktigheten tilsier at man ikke bør benytte det sammen med bakgrunnsdata som inneholder høyere detaljeringsgrad enn dette. Skredfare knyttet til sørpeskred må vurderes særskilt, da kartene ikke gjelder sørpeskred.

For utarbeidelse av aktsomhetskartet er det brukt en landsdekkende terrengmodell (Statens kartverk) med oppløsning på 25x25 m, der datagrunnlaget hovedsakelig er basert på 20 m koter. Kartene er utarbeidet ved bruk av en datamodell som ut fra helning på fjellsiden gjenkjenner terrenget der utløsning av snøskred er mulig. Fra hvert utløsningsområde beregnes utløpsområdet automatisk med statistisk-topografisk "alfa-beta metode" (Lied & Bakkehøi, 1980). Effekten av klima og lokale faktorer (for eksempel skog, utførte sikringstiltak o.l.) er ikke vurdert.

3.2.1.2 Optimalisering av snøskredkart

Aktsomhetskartet tar ikke hensyn til snøforhold, slik at kartlaget kan vise aktsomhetsområder selv i områder der det trolig ikke finnes nok snø til å danne et snøskred. Områder som dette bør derfor utelukkes.

Da modellen heller ikke tar hensyn til lokale faktorer som for eksempel skog, kan det reelle utløpsområdet være annerledes der det finnes tett vegetasjon. Det er mange faktorer som spiller inn når det gjelder skogens evne til å redusere utløsningen og utløpslengden til skred. Skog har hovedsakelig en betydning for utløsning av skred. Effekten av skog på snøskred er i tillegg avhengig av treslag. Skogen danner et eget mikroklima, som påvirker snøens fysiske egenskaper i tillegg til at trestammene forankrer snødekket. Stammene bør være over 8-10 cm i diameter i brysthøyde, og en beregning utført av NGI peker på at det i en helning på 35° trengs 540 trær pr. dekar, med en diameter i brysthøyde på 10 cm, for å stabilisere snødekket. Effekten av skog nedenfor utløsningsområdet er mindre, da skredet allerede har opparbeidet stor hastighet.

Behovet for å inkludere blant annet de faktorene som er nevnt ovenfor, tilstrekkelig snø og eventuell tilstedeværelse av skog, er bakgrunnen for utvikling av verktøyet NAKSIN. En faresonekartlegging i bratt terreng vurderer dessuten kun nåsituasjonen. Dersom en skogkledd dalside senere blir snauhugget, vil forutsetningene for de fleste skredtypene endres, og en vil måtte vurdere farenivået på nytt, eventuelt kjøre analysene både med og uten skog. I kjøringene med NAKSIN gjort for dette prosjektet, er dagens skogsituasjon benyttet, basert på best mulig tilgjengelige landsdekkende data. En videre beskrivelse av NAKSIN er gitt i Vedlegg A.

3.2.2 Vurdering av steinsprangfare

3.2.2.1 Aktsomhetskart - formål og metodikk

Aktsomhetskartene viser potensielle utløsningsområder og utløpsområder for steinsprang (<https://temakart.nve.no/tema/SteinsprangAktsomhet>). For analyseformål bør som hovedregel både utløsningsområder og utløpsområder benyttes sammen. For utarbeidelse av aktsomhetsområdene er det brukt en landsdekkende terrengmodell (Statens kartverk) med oppløsning 25x25 m, der datagrunnlaget hovedsakelig er basert på 20 meters koter. Kartenes målestokk er 1:50 000, og med denne oppløsningen vises ikke utløsningsområder med mindre høydeforskjell enn 20 meter, og lokale skråninger med høydeforskjell på opptil 40 meter kan også falle utenfor aktsomhetssonene.

Aktsomhetsområdene er identifisert ved bruk av en datamodell som gjenkjenner mulige kildeområder (utløsningsområder) for steinsprang ut fra helning på terrenget og geologisk informasjon. Fra hvert kildeområde er utløpsområdet for steinsprang beregnet automatisk. Beregningene er basert på en empirisk-statistisk modell utviklet av NGI, som er utviklet ved analyse av mer enn 120 undersøkte enkeltsprang. NGU har implementert modellen i GIS. Steinsprang løsner oftest i skråninger brattere enn 60° – 70°, men kan også skje i skråninger med slakere helning hvor andre faktorer spiller inn. En tommelfingerregel er at steinsprang kan passere foten av ura med en distanse tilsvarende 1/3 av fjellsidens høyde pluss 30 m. Dette gjelder kun når fjellsiden er høyere enn 100 m og terrenget utenfor urfoten er slakt. Der terrenget er noe brattere utenfor urfoten (>15°) vil steinblokker kunne rulle lengre. Effekten av lokale faktorer som for eksempel skog, er ikke vurdert.

3.2.2.2 Optimalisering av steinsprangkartene

Aktsomhetskartene for steinsprang tar ikke hensyn til skog. Skog med en viss tretetthet og trestørrelse kan bidra til å bremse steinsprangblokker, ved at enkeltblokker kolliderer med trestammer og på den måten taper energi. Dersom blokkstørrelsen er over ca. 5 m³, vil den dempende effekten av skogen være minimal. Skogen bør ha minst 100 m utstrekning i fallretningen, og trærnes diameter i brysthøyde bør være større enn 12 cm for å ha dempende effekt (NVE 2015).

Modellering av steinsprang for dette prosjektet er gjort med "Rockyfor3D", en deterministisk, stokastisk modell som beregner utløp av steinsprang som enkeltblokker (Dorren, 2015). Blokkvolum og blokkform fastsettes, og utløpet som beregnes kan inkludere interaksjon med vegetasjon og eventuelle sikringstiltak. Dette er imidlertid noe som bør gjøres lokalt i hvert enkelt tilfelle og er ikke gjort i kjøringen for dette prosjektet, som har dekket hele landet. En mer utfyllende beskrivelse av modelleringen med Rockyfor3D er gitt i vedlegg A.

3.2.3 Vurdering av jord- og flomskredfare

3.2.3.1 Aktsomhetskart – formål og metodikk

Aktsomhetskartene viser potensielle utløpsområder for alle typer løsmasseskred (bortsett fra kvikkleireskred), små utglidninger og store flomskred i slake elveløp (<https://temakart.nve.no/tema/jordflomskredaktsomhet>). Utløpsområdet dekker alle arealer hvor skredet fortsatt inneholder en viss andel fast materiale som kan avsettes. Dersom vanninnholdet i skredet er veldig høyt, kan den mest vannholdige, tyntflytende delen av

skredet i visse tilfeller flyte enda lenger. Riktig detaljeringsgrad vises når kartene betraktes i målestokk ca. 1:50 000.

Aktsomhetskartene er basert på metodikk utviklet av Norges Geologiske Undersøkelser (NGU, 2014), og er basert på en landsdekkende høydemodell med 10 m oppløsning. To numeriske modeller ligger til grunn, for å beregne henholdsvis kildeområder og utløpsområder. Metodikken baserer seg på terskelverdier, som er tilpasset forskjellige regioner i Norge. Det er videre utviklet en utvidet metode som beregner fare for "mellomstore flomskred", som fanger opp startsoner med større dreneringsområder og utløp med noe lavere skråningsvinkel enn den lavere kategorien, "jordskred og små flomskred". Metodikken er grundig beskrevet av NGU (2014) og utdrag av dette er presentert i vedlegg A.

For dette prosjektet er det ikke utført noen optimalisering av aktsomhetskartene, men basert på vurderinger gjort av NGI (2020) er aktsomhetskartene for "mellomstore flomskred" benyttet som grunnlag for vurderingene. Dette er blant annet basert på feltbefaringer, der aktsomhetssonene for den lavere kategorien ga for konservative estimater, og dermed flere og større fareområder enn det som er realistisk.

3.2.4 Vurdering av fare for kvikkleireskred

For at kvikkleireskred skal forekomme, må to premisser oppfylles. Kvikkleire (eller det som kalles sprøbruddmateriale, heretter kun kalt kvikkleire) må være til stede, og topografien må ligge til rette for at det skal kunne gå skred. Siden Rissa-skredet i 1978 har det vært gjennomført en omfattende kartlegging for identifisering av store potensielle kvikkleireskred, i første rekke i Trøndelag og på Østlandet, men i de senere årene er områder også i Nord-Norge, på Nordvestlandet og på Sørlandet kartlagt. Faresonene er kartlagt blant annet på topografiske kriterier som helning og relieff, men i de fleste områdene med slik kartlegging, er det bare soner med areal større enn 10 mål som er klassifisert som faresoner. Siden dette er en landsdekkende undersøkelse, og store områder av landet fortsatt ikke er kartlagt, er det for dette arbeidet derfor utviklet en metodikk som også vurderer områder som pr. mars 2021 ikke er kartlagt for fare for kvikkleireskred.

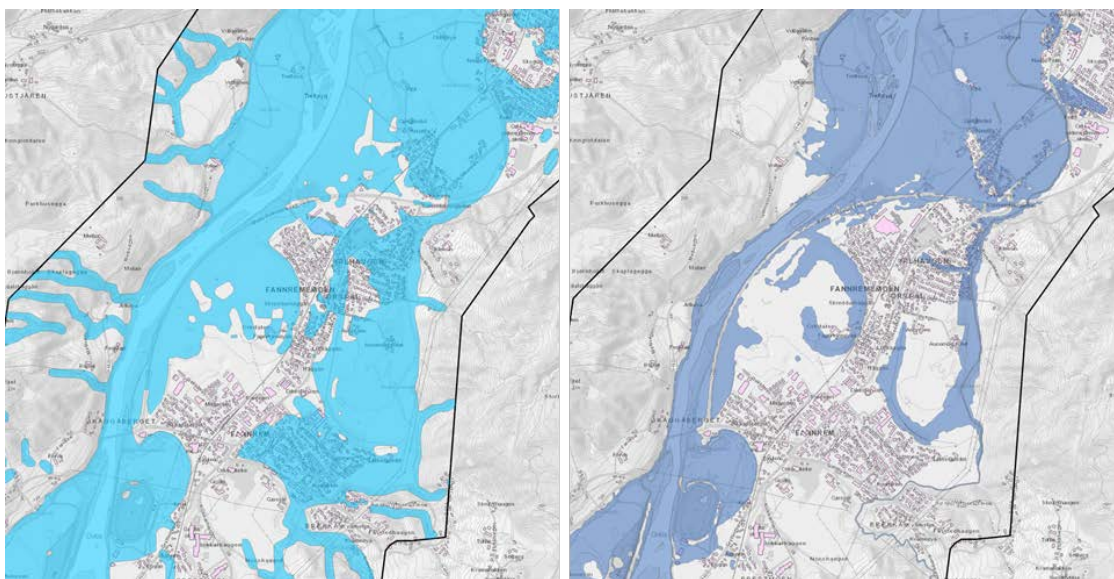
Naturlige kvikkleireskred kan utløses av erosjon eller utglidning i elv eller bekk, slik at selve kvikkleireskredet utvikler seg bakover (såkalt retrogressive skred). En sammenligning av mange større historiske skred viser at geometriske forhold karakteristisk for slike områder typisk er at høydeforskjell i skråning er mer enn 10 m og helningen brattere enn 1:15 (dvs. brattere enn 3,8 grader). Dette er svært slakt, men skredene krever uansett en utløsende årsak, en initiell utglidning som gjør at kvikkleira omrøres og mister sin opprinnelige styrke. Fare for naturlig utløste kvikkleireskred er i all hovedsak knyttet til erosjon i vassdrag der erosjon over tid kan føre til at elvebanken sklir ut og dermed aktiverer kvikkleira, gjerne i kombinasjon med økt poretrykk etter lengre tid med mye nedbør. Kriterier for hvordan disse faktorene bedømmes og klassifiseres i kartleggingen er nøyte beskrevet av NVE (2020).

For FOSS-prosjektet er det utviklet en egen GIS-metodikk for å definere aktsomhetsområder for hele landet. Metoden, som i hovedsak følger elementene gitt i den regionale kvikkleirekartleggingen (NVE, 2020), er basert på to hovedelementer i et kvikkleireskred, utløsningsområdet og utbredelsen av et skred bakover (retrogressiv utvikling). Bakgrunnsdata som benyttes er identifiserte kvikkleirefaresoner fra den regionale kartleggingen

(<https://temakart.nve.no/tema/kvikkleire>), løsmassekart utarbeidet av NGU (<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>) og en digital terrengmodell (DTM) med 10 m oppløsning. Metoden og faktorer som gir usikkerhet, er beskrevet i Vedlegg A.

3.2.5 Vurdering av flomfare

For flomfare har prosjektet benyttet eksisterende kartdata fra NVE. Kartlegging av reell flomfare er utført for begrensede områder (<https://temakart.nve.no/tema/flomsone>). Å benytte disse flomsonekartene alene til å danne et farebilde for flom, vil derfor betydelig underestimere det reelle sikringsbehovet. NVE har i tillegg utarbeidet aktsomhetskart for flom som dekker hele landet (<https://temakart.nve.no/tema/flomaktsomhet>). Dette er utarbeidet gjennom en forenklet GIS-analyse og angir områder som *kan* være flomutsatte og hvor reell flomfare må utredes før utbygging. Riktig detaljeringsgrad vises når kartet betraktes i målestokk 1:50 000. Figur 3.1 viser forskjellen mellom aktsomhetskart og flomsonekart for et gitt område. Aktsomhetskartene sier ikke noe om sannsynlighet og kan derfor ikke benyttes etter sikkerhetskravene i byggteknisk forskrift (TEK17). I FOSS-prosjektet er både flomsonekart og aktsomhetskart benyttet til å estimere sikringsbehovet (metodikk beskrevet i Kap. 4. Metodikken for utarbeidelse av flomsonekart og aktsomhetskart for flom er beskrevet i Vedlegg A.



Figur 3.1 Sammenligning av aktsomhetskart (venstre) og faresonekart for 200-års flom (høyre). Aktsomhetskartet overestimerer areal langs hovedvassdraget. Til gjengjeld inkluderer aktsomhetskartet også mindre sidevassdrag

3.2.6 Vurdering av erosjonsfare

Den GIS-baserte analysen for å definere aktsomhetsområder for erosjon er utviklet i FOSS-prosjektet. Datagrunnlaget for analysen består av:

- NVEs aktsomhetskart flom (linjer)
- DMRN (Distributed Melton Ruggedness Number) datasettet fra NVE
- Helningskart (10 m)
- FKB Vann (polygon) datasettet for å skille ut innsjøer
- Løsmassekart fra NGU

Metodikken består videre i å kombinere maksimal vannstandsstigning, terrenghelning, løsmasetype og DMRN nivået langs elva. DMRN er en topografisk indikator som angir helning, og dermed energinivå i elva, i segmenter med forskjellige topografiske karaktertrekk (NVE, 2020d; Ortega & Schneevoigt, 2012). En videre beskrivelse av metoden finnes i Vedlegg A.

3.3 Sikringstiltak

Det finnes en rekke ulike metoder for å sikre eksisterende bebyggelse mot skader av flom og skred. NVE utvikler en digital håndbok for planlegging og gjennomføring av sikringstiltak mot skred- og flomfare (<https://www.nve.no/sikringshandboka>). Sikringshåndboka er under utvikling og en del av modulene er ikke ferdigstilt (pr. april 2021). Mye informasjon vil kunne hentes fra Sikringshåndboka allerede, men i enda større grad når den er ferdig utviklet og publisert. I tillegg har NGI, gjennom forskningssenteret Klima 2050 (www.klima2050.no), utviklet den web-baserte "verktøykassa" for skredsikring, "Landslide Risk Mitigation Toolbox" – LaRiMiT, for å hjelpe beslutningstakere å finne rett tiltak for å redusere skredfare (www.larimit.com) (Uzielli et al., 2017). LaRiMiT inneholder mye informasjon og er designet for at planleggere kan få opp prioriterte forslag til sikringstiltak, tilpasset behov og lokal kontekst.

I det følgende beskrives i hovedsak "tradisjonelle" tiltak. Imidlertid er det viktig å være klar over at Miljødirektoratet nå krever at naturbaserte løsninger (Nature Based Solutions – NBS) skal vurderes ved alle klimatilpasningstiltak, herunder også sikringstiltak mot flom og skred. Dersom NBS ikke benyttes, skal dette begrunnes (<https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/klimatilpasning/veiledning-til-statlige-planretningslinjer-for-klimatilpasning/vurdere-naturbaserte-losninger/>). NBS benytter i stor grad vegetasjon til stabilisering og erosjonssikring, men omfatter også tiltak som bevaring av flomsletter og annen arealplanlegging. Vegetasjon kan også benyttes for å hindre utløsning av snøskred, men man er avhengig av annen sikring innen eventuell plantet vegetasjon blir kraftig nok til å stabilisere snødekket. Kalsnes & Capobianco (2019) gir en gjennomgang av NBS for skred, og verktøyet LaRiMiT har også en rekke NBS inkludert, med beskrivelser og eksempler på bruk.

3.3.1 Sikring mot snøskred og sørpeskred

De vanligste sikringstiltakene mot snøskred er:

- Etablering av støtteforbygninger i utløsningsområdene, som har til hensikt å holde snøen på plass. Ved store høydeforskjeller må det bygges flere rader med en viss avstand (vanlig er ca. 30 m). Høyden på forbygningene er avhengig av forventet snøhøyde. Støtteforbygninger er sjeldnere brukt enn valler i Norge, men er benyttet i en del områder, særlig i Nord-Norge. De er svært vanlige i Alpene.
- Terrengtiltak i form av valler i utløpsområdene, som har til hensikt å lede, bremse eller stanse skredmassene. Høyden på tiltakene er avhengig av forventet hastighet og volum på skredmassene.
- Snøoverbygg av betong har blitt bygget flere steder i Norge der store skred passerer over veien. Overbygg er kostbare, gjerne minst kr. 100 000 pr. løpemeter. Slik form for sikring brukes hovedsakelig for vei og bane og er lite egnet for bebyggelse.
- Sørpeskred sikres gjerne etter de samme prinsipper som gjelder for flomskred.

Estimatene av kostnader for sikring mot snøskred pr. løpemeter i dette arbeidet, er basert på gjennomsnittspris pr. løpemeter for voller. Grunnlaget er basert på erfaringstall fra gjennomførte prosjekter som er rapportert fra NVEs regioner, samt erfaringstall fra NGI og Statens Vegvesen.

3.3.2 Sikringstiltak mot steinskred og steinsprang

Sikringstiltak som hovedsakelig angår bergskjæringer (eks. sprøytebetong), inkluderes ikke i oversikten under. Hvilket tiltak som brukes avhenger av flere faktorer, som blokkstørrelse, sprekkepattern, forventet kinetisk energi for steinsprang mm.:

- Rensk, fjerning av løst berg. Manuell rensk (spett-rensk) er den enkleste og billigste formen for rensk. Spyling av fjellsider forekommer også, selv om dette nok er mest utbredt for skjæringer. Dette fungerer for blokker med begrenset volum, som i stor grad er avløst. I tillegg kan verktøy som luftpute brukes. Rensk gjennomføres for mindre stein det ikke er hensiktsmessig å sikre og på blokker som vurderes som for risikable å sikre (Nilsen, 2016).
- Bolting. Dette er en vanlig sikringsmetode for blokker. Brukes generelt for blokker av en betydelig størrelse som ikke lar seg renske. Relativt rimelig form for sikring. Bolttypene som brukes har forskjellige anvendelsesområder (Statens Vegvesen, 2014).
- Nett. Sikring med nett utføres på flere forskjellige steder, både skjæringsflater, oppsprukket berg og naturlige fjellskrenter. På urmasser med til dels store og løse steinblokker brukes nett i noen tilfeller.
- Steinspranggjerder/fanggjerder. Sikring i utløpsområdet. Varierer i styrke fra 100 kJ og opp mot 10 000 kJ. I tilfeller der ikke ett steinspranggjerde er tilstrekkelig, kan de plasseres i flere rekker.
- Voller. Dette er en utbredt form for sikring også for steinsprang og steinskred. Ofte anlegges voller i kombinasjon med dempende materiale der blokker er forventet å lande.

Estimatene av kostnader for sikring pr. løpemeter er basert på prisen for sikring mot steinsprang i utløpsområdet, dvs. voller og steinspranggjerder. Disse sikringsmetodene kommer ut med relativt like priser pr. løpemeter sikring. Grunnlaget er basert på erfaringstall fra gjennomførte prosjekter som er rapportert fra NVEs regioner, samt erfaringstall fra NGI og Statens Vegvesen.

3.3.3 Sikringstiltak mot jord- og flomskred

Sikringstiltak mot flomskred blir vanligvis gjennomført ved terrengmessige tiltak som ledevoller, for å lede skredmassene unna bygninger og kritisk infrastruktur. I tillegg er etablering av stikkrenner/kulverter/skredbru for å sikre gjennomløp under veier viktige. For store bekkeløp med mye vann og stor massetransport vil skredbru med stor lysåpning være å foretrekke for å redusere faren for gjentetting. For mindre bekkeløp kan det være tilstrekkelig med stikkrenne. I mange tilfeller kan det også være aktuelt å plastre løpene for å hindre erosjon.

Den største utfordringen for slike tiltak vil være fare for gjentetting i flomsituasjoner med stor massetransport, og ofte vil det være hensiktsmessig å bygge fangdammer oppstrøms, i kombinasjon med forskjellige løsninger for å slippe finere masser og vann gjennom.

Helt avgjørende i forhold til sikringseffektivitet er vedlikehold av tiltaket med særlig vekt på å fjerne avlagrede masser etter flomsituasjoner og derved sikre at kapasiteten på gjennomløpet opprettholdes.

Sikringstiltak mot jordskred blir vanligvis gjennomført på følgende måter:

- Stabilisering ved dreneringstiltak som har til hensikt å hindre oppbygning av vanntrykk i løsmassene. Slike tiltak er mest relevant dersom utløsningsområdet er lett tilgjengelig.
- Terrengtiltak i utløpsområdene som har til hensikt å lede, bremse eller stanse skredmassene. Disse tiltakene er oftest voller eller en kombinasjon av voller og fangdammer. Høyden på tiltakene er avhengig av forventet hastighet og volum på skredmassene. Fangdammer må tømmes etter store hendelser, noe som medfører en vedlikeholdskostnad.

Estimatene av kostnader for sikring pr. løpemeter gjelder i hovedsak voller, og er basert på erfaringstall fra gjennomførte prosjekter som er rapportert fra NVEs regioner, samt erfaringstall fra NGI og Statens Vegvesen.

3.3.4 Sikringstiltak mot kvikkleireskred

Som nevnt tidligere opererer man gjerne med to kategorier i forbindelse med kvikkleireskred; naturlige og menneskeskapte utløsningsmekanismer. I dette arbeidet fokuseres det på naturlig utløste kvikkleireskred. Sikringsbehov for potensielle skred som for eksempel skyldes anleggsvirksomhet som forverrer skråningsstabiliteten i et område, er således ikke en del av dette arbeidet. De viktigste mekanismene som naturlig kan utløse kvikkleireskred er erosjon i vassdrag (elver, bekker, raviner), eller økt poretrykk i grunnen på grunn av lang tids nedbør i skråninger med marginal stabilitet. Sikring av vassdrag er det mest nærliggende sikringsalternativet. Det omfatter i første rekke bruk av erosjonssikring (se under), om det så er tradisjonell plastring og steinsetting eller mer naturbaserte løsninger (vegetasjon). I tillegg vil det en del steder være behov for stabiliserende terrengtiltak som motfylling i bunn av skråning eller avlastning på toppen av skråning. Større inngrep, som bruk av grunnforsterking (kalk-sement peler), vil ikke bli vurdert videre i dette studiet, selv om de brukes mye i byggeprosjekter på dårlig grunn eller i spesifikke sikringsprosjekter.

Sikringstiltak som terrengendringer, motfyllinger, kalk-sement stabilisering eller forankring er i hovedsak brukt for å sikre mot skred utløst av menneskelig aktivitet i forbindelse med anleggsvirksomhet og utbygging. For kostnadsestimatene i dette arbeidet er løpemeterprisen i hovedsak basert på erosjonssikring i vassdrag, og grunnlaget er erfaringstall fra NVEs regioner.

3.3.5 Sikringstiltak mot flom

Flom i større vassdrag er oftest stillestående eller sakteflytende vann. Spesielt utsatt er lavpunkter i terrenget og områder oppstrøms trange partier langs vassdraget. Mindre og brattere vassdrag med begrensede nedbørsfelt har ofte kort responstid i forhold til nedbør, og i slike bekker og elver kan flommen ha stor energi og føre til betydelig skade, inkludert erosjon, langs elvebreddene. Spesielt i slike bratte vassdrag kan lokal erosjon og avlagring eller tilstopping føre til at elva finner seg et nytt løp. Det samme kan skje hvis flomvannføringen overstiger kapasiteten til vassdraget.

Oversvømmelser er vanligvis ikke livstruende, men kan føre til stengte veier og skader på bygninger, infrastruktur og dyrkbar mark.

Trange partier i vassdraget, som innsnevringer under bruer eller i trange juv, kan bli tilstoppet av drivgods og masser. Dette reduserer tverrsnittet ytterligere, noe som kan medføre oversvømmelse. Hvis tilstoppingen løsner plutselig, kan det føre til en ukontrollert og uforutsigbar vannføringsøking nedover i vassdraget. Er det oppdemte vannvolumet stort kan dette arte seg som en dambruddsbølge.

En rekke tiltak kan iverksettes for både å redusere flomfaren og for å redusere konsekvensene av en flom. For å redusere faren (sannsynligheten) for flom i vassdraget er forskjellige typer fordrøyning høyere i nedbørsfeltet en mulighet. Bruk av eksisterende dammer (mange eldre slike i Norge) eller etablering av nye er mulig, selv om slike dammer ofte ligger høyt opp i vassdragene i Norge og vil således bidra lite til å kunne dempe flomtopper, siden mye av vanntilførselen (nedbør og snøsmelting) foregår nedenfor dammene. Bevaring av myrområder og vegetasjon kan også være like viktige tiltak som etablering av kunstige fordrøyningsanlegg.

For å redusere konsekvenser av en flom, er flomvoller/-murer (noen ganger i kombinasjon med pumpeverk) og/eller andre tiltak på bygninger de vanligste tiltakene. I tillegg kan man identifisere kritiske punkt i vassdraget og gjøre modifikasjoner i disse, som utforming eller øking av elvas tverrsnitt, for å øke kapasiteten, samt tiltak for å håndtere mulig drivgods og masseavsløsing langs vassdraget. Man har imidlertid for lite datagrunnlag til å estimere kostnader ved f.eks. naturbaserte løsninger for fordrøyning eller modifisering av selve elveløpet, til at dette er tatt inn i analysene i denne studien.

For kostnadsestimatene i dette arbeidet er løpemeterprisen basert på kostnadene pr. løpemeter for flomvoll. Dette er igjen basert på erfaringstall fra NVEs regioner, og i noen tilfeller kan prisen være påvirket av at flomsikringen også omfatter pumpeverk, etc. Dette vil imidlertid også være realiteten i fremtiden, at noen tiltak vil være enkle voller, mens andre vil bli mer omfattende. Den beregnede løpemeterprisen ansees derfor som realistisk.

3.3.6 Sikringstiltak mot erosjon

Tradisjonelt har erosjonssikring vært utført med steinsetting langs elvebredden, eventuelt også i hele tverrsnittet om det er fare for bunnsenkning. NVE har gitt ut en veileder for dimensjonering av erosjonssikringer i stein (NVE, 2009). Veilederen gir innføring i erosjonsprosesser, de belastninger en erosjonssikring blir utsatt for og stabiliteten til en sikring.

Tiltak i avlagringsområdene i et vassdrag kan være nødvendig for å håndtere massene. De vanligste metoder her er etablering av massebasseng og regulerte steder for masseuttak.

I svinger og ved forandring i elvetverrsnittet oppstår sekundære strømminger. Disse sekundærstrømmingene kan forsterkes og endre retning slik at vannhastigheten lokalt kan bli stor. Dette fører til økt lokal erosjon, som må sikres spesielt, men med tilsvarende metoder som ellers i vassdraget.

I de senere år har det blitt mer fokus på alternative metoder for erosjonssikring, såkalte naturbaserte løsninger, som er spesielt godt egnet i forhold til erosjon. Den web-baserte

"verktøykassa" LaRiMiT (se kap 3.3) inkluderer også mange forslag for å redusere erosjonsfare ved bruk av naturbaserte løsninger, enten i form av rene naturbaserte løsninger (grønne) eller i form av kombinasjoner av grønne og tradisjonelle (grå) sikringsløsninger, såkalte hybride løsninger.

I kostnadsestimatene i dette arbeidet er utgangspunktet tradisjonell erosjonssikring med steinsetting av bunn og elvebredder benyttet. Dette begrunnes med at det er for disse tiltakene vi har datagrunnlag for enhetspriser basert på erfaringstall fra NVEs regioner. Erosjonsfaren vil også kunne reduseres ved hjelp av flomdempende tiltak, som fordrøyning i øvre deler av nedbørsfeltet, samt andre løsninger, men her er erfaringsgrunnlaget for lite til å estimere kostnader. I områder med mulig kvikkleire vil erosjonssikringen også være sikring mot naturlig utløste kvikkleireskred.

3.3.7 Klimapåvirkning av sikringsbehovet

Norsk klimaservicesenter (2015) gir i sin rapport *Klima i Norge 2100*, kvalitative vurderinger av hvordan fare for skred og flom er forventet å endres fram mot 2100. For å ta hensyn til klimaendringer i prioritering, design og bygging av sikringstiltak, er en mer kvantitativ tilnærming nødvendig. Dette vil uansett være beheftet med relativt store usikkerheter, og det vil hele tiden måtte bli en nytte/kost-vurdering i forhold til tiltakets levetid og hvor store klimafaktorer man skal bruke. Et planlagt tiltak med kort levetid kan f.eks. dimensjoneres basert på dagens klima, mens andre må kunne tåle forventede klimaendringer gjennom en lengre levetid, eller utformes slik at de kan forsterkes ved behov. Naturbaserte løsninger (NBS) vil ofte være klimarobuste, og gir en rekke tilleggsgevinster. Slike løsninger skal iht. krav fra Miljødirektoratet vurderes, og bør prioriteres høyt dersom de gir tilstrekkelig risikoreduksjon.

Et krav om sikring i henhold til TEK17 nivå tilsier at det skal sikres mot årlig flom- og skredsannsynlighet på henholdsvis 1/200 og 1/1000. Først og fremst er det endringer i temperatur og nedbør som vil ha direkte konsekvens for flom- og skredfare. I tillegg påvirker temperaturøkningen snøskredfaren, men her vil neppe den positive effekten av kortere snøsesong og høyere snøgrense/tregrense slå ut i særlig grad før ved midten av århundret. Økt nedbør i form av snø vil kunne ha en negativ effekt og føre til flere/større skred i mange områder de første 10-årene.

I beregning av sikringsbehov som eventuelt skal implementeres i årene fremover, bør klimaeffekten fram mot år 2100 diskuteres. Den største effekten vil trolig være at hyppigheten av de kraftige nedbørtriggede hendelsene endres, mens maksimal rekkevidde av de mest ekstreme skredene neppe vil øke. Som et eksempel vil et "1000-års flomskred" i 2020 kunne være et "700-års flomskred" i 2100. Dette betyr i praksis at den skredhøyden og -intensiteten man sikrer bebyggelse for i dag ikke nødvendigvis er tilstrekkelig for å tilfredsstille sikkerhetskravene i år 2100.

Av skredtypene antas at den største klimapåvirkningen vil være på jord- og flomskred. For snøskred antas at klimaeffektene vil nulle hverandre ut i et 80-års perspektiv når det gjelder sikringskostnader. Steinsprang utløses av en rekke årsaker, og selv om nedbør er en faktor, anser vi usikkerheten som for stor til å legge på noen klimafaktor på steinsprangsikring.

For flom er koblingen med klima åpenbart stor. Økt nedbør er en driver for økt flom. Imidlertid er bildet nyansert og prognosene for endringen i flomstørrelser varierer mellom

-40% og +40% avhengig av hvor i landet man er, på grunn av endringer i snøsmeltings-effekten koblet med at nedbørsprognosene også varierer regionalt.

For flom er det påkrevet å ta med et klimapåslag på estimerte flomhøyder (Tabell 2.1) når flomsikring skal dimensjoneres. For skred, også jord- og flomskred, anser vi usikkerhetene som så store, både med tanke på forventede endringer og i forhold til konsekvensene og fremtidige sikkerhetskrav og krav til bygninger, at vi i de videre estimatene av sikringskostnader forholder oss til dagens erfaringstall for sikringstiltak. Disse estimatene har i seg selv en rekke usikkerhetsfaktorer (Kap. 7.4) og å estimere en klimarelatert prisøkning på det totale sikringsbehovet vil trolig bidra til å øke denne usikkerheten.

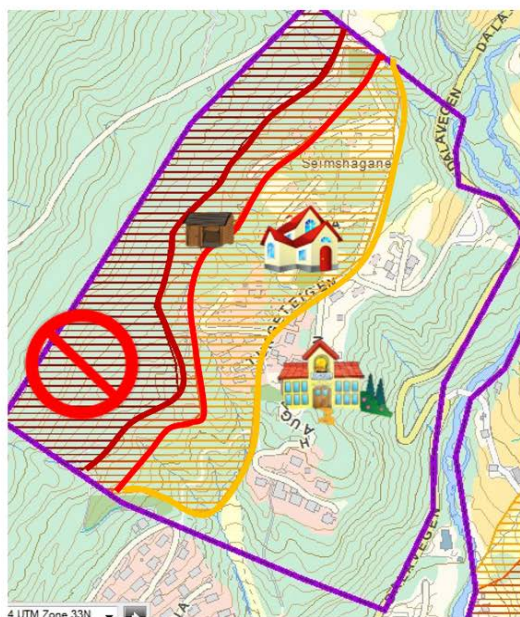
4 Metodikk for vurdering av områder med sikringsbehov

Utgangspunktet for denne analysen er at det skal beregnes sikring for et sikringskrav i henhold til TEK17. Dette innebærer at det skal sikres for definerte gjentakintervaller for flom og skred for ulike typer bygg, som er 200-års gjentakintervall for vanlige bolighus for flom og 1000-års gjentakintervall for vanlige bolighus for skred. For kvikkleire, der sikringsbehovet ikke er relatert til et gitt gjentakintervall, er sikringsbehovet vurdert ut fra kriterier gitt i kvikkleireveilederen (NVE, 2019). For erosjon er ikke kravet til sikkerhet knyttet til sannsynlighet eller gjentakintervall, men det er angitt at minste avstand til erosjonsutsatt elvekant skal være minst like stor som høyden av kanten, og ikke under 20 meter selv om høyden er mindre enn dette. Metodikken som er utviklet i prosjektet og som benyttes i vurderingene, skal gi grunnlaget for kostnadsestimatene for sikring av eksisterende utsatt bebyggelse, angitt både som kostnad pr. bygg og som kostnad pr. løpe-meter sikring.

4.1 Metodikk for utvalg av bygninger

Å anslå antall bygninger med sikringsbehov har vært utfordrende, mye på grunn av et komplekst kartgrunnlag. Aktsomhetskart er landsdekkende, mens faresonekart kun dekker deler av landet. NGI har utarbeidet en serie med "aktsomhetskart for snø- og steinskred", som dekker mye av de delene av landet som er mest utsatt for skred i bratt terreng, men ikke hele landet. I tillegg finnes i enkelte områder flere generasjoner faresonekart. Faresonekartene angir med symboler hvilke skredtyper som er dimensjonerende, men egne kartlag for hver skredtype er ikke etablert. Faresoner for kvikkleireskred finnes ikke for alle områder der kvikkleire kan forekomme. Aktsomhetskart for flom, som viser mulig vannstandsøkning, finnes for hele landet, mens farekart for flom, finnes bare langs et utvalg av vassdragene.

Disse utfordringene er behandlet i en serie arbeidsmøter, der prosjektgruppa har kommet fram til det man mener er gode avveininger, som behandles mer spesifikt for de forskjellige faretypene nedenfor. Når det gjelder opptelling av bygninger, har man valgt å ikke telle med bygninger i sikkerhetsklassene F1 og S1 i TEK17. Disse to sikkerhetsklassene omfatter typisk naust, garasjer og andre bygg med lite personopphold. (Figur 4.1). I tillegg er alle bygninger klassifisert som fritidsbebyggelse tatt ut av analysene, siden sikring av slike ikke er prioritert innenfor NVEs bistandsordning i dag. Fritidsbebyggelse kan enkelt inkluderes i framtidige tilsvarende analyser om det er behov for det.



TEK 17 - § 7-3 - Akseptkriterier

- 100 års skredet ———
- 1000 års skredet ———
- 5000 års skredet ———

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlig sannsyn for skred
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

Alternativet er å sikre arealet slik at det blir tilstrekkelig trygt i henhold til TEK17

Figur 4.1 Illustrasjon av sikkerhetsklassene for skred i henhold til kravene i TEK17. For flom vil klassene F1-F3 gjelde tilsvarende type bygninger. S2/F2 omfatter alle bolighus, mens S3/F3 er større enheter med mer enn 25 mennesker, som boligblokker, institusjoner, skoler etc.

4.1.1 Skred i bratt terreng

Betegnelsen "skred i bratt terreng" omfatter snøskred, steinskred/steinsprang og jord- og flomskred. Grunnen til at disse skredtypene omtales felles, er at de kartlagte faresonene viser grensene for dimensjonerende faretype, der symboler på kartet viser hvilken faretype dette er. Det er derfor ikke mulig å hente ut denne detaljerte informasjonen i GIS-analysene. For å beregne antall bygg som har behov for sikring, er følgende datasett benyttet:

- Landsdekkende aktsomhetskart for de tre skredtypene, optimalisert iht. beskrivelsene over, ved bruk av NAKSIN og Rockyfor3d (Kap. 3.2) for henholdsvis snøskred og steinsprang (NGIs kart for snø- og steinsprangfare er ikke benyttet her). NVEs aktsomhetskart for mellomstore flomskred er beholdt i sin opprinnelige form.
- Faresonekart for skred i bratt terreng. Der flere generasjoner kart finnes og overlapper, er det nyeste benyttet.
- Registrerte skredbaner, som i enkelte tilfeller kan strekke seg utenfor aktsomhetsområdene.
- Data om alle bygninger fra Matrikkelen. (Norges offisielle eiendomsregister: <https://kartverket.no/globalassets/eiendom/matrikkel/informasjonsbrosjyre-om-matrikkelen/matrikkel-infobrosjyre-a4.pdf>)

Selv om aktsomhetsområdene er optimalisert på forskjellige måter (Kap. 3.2), ligger det ingen befaringer til grunn.

Fremgangsmåten framgår av Tabell 4.1. For hver av NVEs regioner (Region Nord, Midt, Vest, Sør og Øst) er antall bygg i sikkerhetsklasse S2 og høyere beregnet innenfor kartlagte faresoner og innenfor aktsomhetsområdene. I tillegg er det tatt hensyn til de få områdene der enten faresoner eller registrerte skredbaner strekker seg utenfor aktsomhetsområdene, slik at en får antall potensielt utsatte bygg i sikkerhetsklasse S2 eller høyere i hver region.

Dette gir videre en prosentandel av bygg som ligger i faresoner og innenfor registrerte skredbaner i forhold til det antall som ligger i aktsomhetssonene. De kartlagte faresonene er grundig befart og regnes derfor som langt sikrere enn aktsomhetsområdene med tanke på om bygninger er utsatt eller ikke. Siden langt fra alt innenfor aktsomhetsområdene er faresonekartlagt, anvendes den beregnede prosentandelen på det totale antall bygg i S2 eller høyere, innenfor aktsomhetsområdene, men utenfor definerte kartleggingsområder, i tillegg til bygg innenfor kartlagte faresoner, for å anslå et totalt antall bygg som trenger sikring innenfor hver av NVEs regioner (høyre kolonne i Tabell 4.1).

Tabell 4.1 Beregning av antall bygg med sikringsbehov i forhold til skred i bratt terreng

	Hele landet	Innenfor kartlagte områder				Utenfor kartlagte områder		Totalt
Region	Antall S2+ bygg totalt	A	B	C	D	E	F	G
Midt	255736	1784	143	504	28,4%	9286	3035	3178
Nord	197992	13606	2141	6715	31,9%	18114	5920	8061
Sør	628348	13727	1456	4945	29,4%	27879	9111	10567
Vest	403267	65460	8986	28978	31,0%	43006	14054	23040
Øst	678919	9336	1395	2069	67,4%	8658	2829	4224
Totalt	2164262	103913	14121	43211	32,7%	106943	34948	49069

A: Antall S2+ bygg totalt

E: Antall S2+ bygg i aktsomhetsområder*

B: Antall S2+ bygg i faresone 1/1000

F: Utsatte bygg (32,7% av E)

C: Antall S2+ bygg i aktsomhetsområde* (snø/stein/jord)

G: S2+ bygg med antatt sikringsbehov

D: Andel i faresone vs. aktsomhetsområde*

(B+F)

*: Aktsomhetsområder beregnet med metodikk utviklet i prosjektet for snøskred og steinsprang (Kap. 3.2)

Forholdet mellom antall bygg i kartlagte faresoner og i aktsomhetsområdene innenfor definerte kartleggingsområder varierer kun mellom 28,4 % og 31,9 % for Region Midt, Nord, Sør og Vest, (Tabell 4.1). mens Region Øst skiller seg ut ved et forhold på 67,4 %. Region Øst har imidlertid relativt få utsatte bygg sammenlignet med Region Nord, Sør og Vest, og man har derfor valgt å benytte landsgjennomsnittet på 32,7 % i beregningene. Dette betyr at på landsbasis er 32,7 % av alle bygg i sikkerhetsklasse S2 eller høyere innenfor aktsomhetsområdene å regne som utsatt og med behov for sikring. Summert gir dette totalt 49.069 bygninger i sikkerhetsklasse S2 eller høyere med et sikringsbehov. Her er ikke allerede eksisterende sikring hensyntatt (Kap.7.2)

4.1.2 Kvikkleire

For beregning av bygg med potensielt sikringsbehov i forhold til mulige naturlig utløste kvikkleireskred, er følgende data benyttet:

- Marin grense, fra NGU
- Aktsomhetsområder, beregnet med metodikk utviklet i prosjektet og beskrevet i kapittel 3.2.4.
- Kartlagte faresoner for kvikkleire
- Studie av behov for sikring i kartlagte områder i Trøndelag
- Data om bygninger, fra Matrikkelen

FOSS-prosjektet har utviklet en ny metodikk for å definere aktsomhetsområder for naturlig utløste kvikkleireskred for hele landet (Vedlegg A). Utgangspunktet for metoden er å finne områder der erosjon langs bekker og elver kan initiere kvikkleireskred. Som for skred i bratt terreng er utgangspunktet bygg i sikkerhetsklasse S2 eller høyere (S2+). Beregning av antall bygg i kvikkleireskred aktsomhetsområder ved bruk av denne metoden er totalt 150.492 bygninger på landsbasis. Dette antallet er antatt å være langt høyere enn reelt behov for sikring mot kvikkleireskred. Dette skyldes i første rekke to forhold:

- Ikke alle potensielle områder for kvikkleireskred definert fra GIS-analysene (Vedlegg A) har kvikkleire
- Erosjon utgjør ikke en fare langs alle bekker og elver definert fra GIS-analysene

For å gi et anslag på hvor stor andel av de definerte områdene som reelt trenger erosjons-sikring, er det derfor sett på et arbeid utført i regi av NVE i Region Midt (NVE, 2020a), der behovet for sikring er vurdert ut fra grunnundersøkelser og befarings. I dette arbeidet er i alt 49 eksisterende faresoner for kvikkleire i 6 kommuner undersøkt. For 19 av disse sonene ble det foreslått erosjonssikring. Dette utgjør 39 % av de undersøkte sonene. De aller fleste av faresonene som ble foreslått sikret, var definert med "noe" eller "aktiv" erosjon (det eksisterer i alt 4 kategorier; ingen, lite, noe eller aktiv) (NVE 2020b). På landsbasis eksisterer det per 2021 i overkant av 2300 kartlagte kvikkleirefaresoner. Totalt 30 % av disse er kategorisert med erosjonsfare "noe" eller "aktiv". Denne kategoriseringen av erosjon er nok relativt usikker for mange av sonene, men det antas likevel å representere den reelle situasjonen relativt bra på et overordnet nivå.

Kvikkleire skiller seg fra skred i bratt terreng og flom med at definerte faresoner, av årsaker diskutert over, ikke utgjør det reelle antallet med behov for sikring. Ikke minst må man utføre grunnundersøkelser for det enkelte definerte fareområdet for å kunne vite sikkert om det er kvikkleire der eller ikke. Beregninger av behov for sikring er derfor i dette studiet vurdert ut fra GIS-analysene utviklet i dette prosjektet, redusert med et forholdstall (%) som er en kombinasjon av data fra eksisterende faresoner og resultater fra studien om behov for sikring fra Trøndelag. Dette forholdstallet er med utgangspunkt i diskusjonen over satt til 30 %. Totalt antall bygg med antatt behov for erosjonssikring for kvikkleire utgjør derfor 45.148 (30 % av 150.492).

4.1.3 Flom

Det er lagt inn konservative parametere i utarbeidingen av aktsomhetskartet for flom. Av den grunn vil aktsomhetskartet derfor som regel overestimere utsatt areal for et område sammenlignet med en faresonekartlegging av samme område. Å legge aktsomhetskartet alene til grunn for beregning av et landsdekkende farebilde for flom, vil derfor betydelig overestimere antall fareutsatte bygninger.

For å justere for overestimeringen ved bruk av aktsomhetskart som beskrevet over, er en tilsvarende framgangsmåte som for skred i bratt terreng (Kap. 4.1.1) benyttet. For alle områder der det er utført en reell faresonekartlegging, er antall F2- og F3-bygg som ligger innenfor gitte flomsoner talt opp. I tillegg er antall F2- og F3-bygg som ligger innenfor aktsomhetsområde for flom innenfor det samme kartleggingsområdet talt opp. Det er med utgangspunkt i dette beregnet et forholdstall F som angir forholdet mellom *faktisk utsatt* bebyggelse og *mulig utsatt* bebyggelse innenfor kartleggingsområdene.

$$F = \frac{\text{Antall faktisk utsatte bygninger (innenfor kartlagte flomsoner)}}{\text{Antall mulig utsatte bygninger (innenfor aktsomhetsområder)}}$$

For tilgjengelige faresonekartlegginger er det i varierende grad utført vannlinjeberegninger for flom med ulike gjentaksintervaller. Dette gir ikke statistisk grunnlag for å beregne forholdstall per region for alle gjentaksintervaller. Det er derfor beregnet forholdstall per region kun for 200-års flom.

Antall F2- og F3-bygg innenfor aktsomhetsområder for flom i hele landet er deretter talt opp per region og multiplisert med det beregnede forholdstallet, F, for hele landet (33,4 %) for å korrigere for aktsomhetskartets overestimering. Dette resulterer i landsdekkende opptelling av antall F2-bygg som ligger i antatt fare for 200-års flom (Tabell 4.2). Disse tallene benyttes videre i den overordnede analysen som "farebilde for flom", og er grunnlaget for kostnadsberegningene. Totalt antall hus med antatt behov for flomsikring utgjør 106 094 bygninger.

Tabell 4.2 Beregning av antall bygg i sikkerhetsklasse F2 og høyere, med antatt behov for sikring mot flom

	Hele landet	Innenfor kartlagte områder for 200 års flom				Utenfor kartlagte områder 200 års flom		Totalt
Region	Antall F2+ bygg totalt	A	B	C	D	E	F	G
Midt	255631	26588	2625	8638	30,4%	37803	12617	15242
Nord	197722	6552	681	2985	22,8%	42316	14123	14804
Sør	628219	42232	5915	15051	39,3%	62445	20841	26756
Vest	403059	14349	2204	6080	36,3%	50282	16781	18985
Øst	678883	82008	6715	21599	31,1%	70691	23593	30308
Totalt	2163514	171729	18140	54353	33,4%	263537	87954	106094

A: Antall F2+ bygg totalt

E: Antall F2+ bygg i aktsomhetsområder

B: Antall F2+ bygg i faresone 200 år

F: Antall utsatte F2+ bygg: E korrigert med 33,4%

C: Antall F2+ bygg i aktsomhetsområde flom

G: F2+ bygg med antatt sikringsbehov (B+F)

D: Andel i faresone (B) vs. aktsomhetsområde (C)

4.1.4 Erosjon

Aktsomhetssonene for erosjon som er generert med metodikk utviklet i prosjektet (Kap. 3.2.6; Vedlegg A), er relativt smale soner langs vassdragene. For å definere utsatte bygninger slås sonene for sidevassdrag og hovedvassdrag sammen. Totalt ligger 30.799 bygninger i sikkerhetsklasse F2 og høyere innenfor aktsomhetssonene for erosjon. Basert på forholdstall beregnet for skred i bratt terreng og flom, ansees 1/3 av disse bygningene, 10.266, som så erosjonsutsatt at de har behov for sikring.

4.2 Metodikk for beregning av lengde på antatt nødvendige sikringstiltak

4.2.1 Skred i bratt terreng

Mye spredt bebyggelse i Norge ligger skredutsatt og har behov for sikring. Imidlertid vil det bli feil å beregne sikringsbehov og sikringskostnad for hvert bygg der flere bygg ligger

samlet i grupper, og flere bygninger kan sikres med samme tiltak, f.eks. en skredvoll. I dette arbeidet har vi sett på både enkeltstående bygg og grupper med to eller flere bygg i sikkerhetsklasse S2 og høyere.

For grupper av bygg er hver "gruppe" definert ved å være minst to bygg, med avstand mindre enn 50 m fra hverandre (avstand mellom registrerte bygningspunkt). I svært mange tilfeller omfatter dette langt flere enn to bygg, og med langt mindre enn 50 m innbyrdes avstand. ArcGIS finner disse gruppene og trekker polygoner rundt dem, med en buffer på 20 m utenfor de ytterste bygningene. Antall løpemeter sikring for hver gruppe er så beregnet som lengden på den lengste høydekoten gjennom polygonet rundt gruppen, beregnet i data med 1 m ekvidistanse. I de relativt få tilfellene der relevante høydekoter ikke kan defineres (17 grupperinger) eller lengste kote er mindre enn 30 m (80 grupperinger), er sikringsbehovet satt til 30 m lengde, som er en "standard tomtebredde". For enkeltstående bygninger med sikringsbehov er behovet per bygg satt til 30 m.

Det samlede antallet løpemeter for bygg i grupper og enkeltbygg er estimert til 2.887.658 m. Når dette korrigeres med en faktor som framkommer ved å se på forholdet mellom totalt antall bygg som skal sikres og totalt antall bygg i eksisterende faresoner og aktsomhetsområder beregnet i prosjektet, 40,5 %, blir totalt antall meter med behov for sikring 1.170.407, som tas videre inn i kostnadsberegningene (Kap. 6.2). For begge kategoriene grupper og enkeltstående bygg, er forholdet mellom antall bygg innenfor og utenfor de kartlagte områdene i faresonekartleggingen omtrent likt, ca. 10 % innenfor kartlagte områder og ca. 90% utenfor disse (men innenfor aktsomhetsområdene).

4.2.2 Kvikkleire

Utgangspunktet for beregningene er å gruppere bygg og beregne lengste akse innenfor hver polygon, tilsvarende det som er gjort for skred i bratt terreng. Imidlertid vil dette underestimere sikringsbehovet, fordi ikke bare husrekka/gruppen må erosjonssikres, men hele sonen. Det er på denne bakgrunnen gjort en kontroll mot 10 områder, to i hver av NVEs regioner, med kartlagte faresoner for kvikkleireskred. Dette gir et mål på underestimeringen ved bare å måle lengste akse i gruppepolygonene, og det er funnet at et mer realistisk antall løpemeter sikringsbehov framkommer ved å multiplisere lengste akse med en faktor 2,5. Ved bruk av denne metodikken er totalt antall løpemeter som bør sikres 1.791.275 m.

4.2.1 Flom

For flom er det benyttet samme fremgangsmåte som for kvikkleire, med kontroll av beregningene fra GIS-analysen mot 10 områder med flomfare (2 i hver av NVEs regioner). Denne manuelle kontrollen viser at GIS-analysen også for flom underestimerer sikringsbehovet noe. Imidlertid er underestimeringen varierende. Typisk underestimerer metoden noe i områder der det er få bygg som skal sikres, og overestimerer noe i områder der det er mange bygg som skal sikres. I de 10 områdene som er studert varierer antall bygg med sikringsbehov fra 10 til over 800. I gjennomsnitt er underestimeringen ca. 15 % for de kontrollerte områdene. Gitt variasjonen i anslagene og usikkerheten forbundet med bare å kontrollere mot et begrenset antall områder, er opprinnelige tall, beregnet fra GIS-analysen, funnet til å være tilfredsstillende og brukes i de videre kostnadsestimatene. Estimert antall løpemeter med behov for flomsikring beregnet fra GIS-analysene, er 2.261.028 m.

4.2.2 Erosjon

Som forklart ovenfor grupperes bygninger med innbyrdes avstand mindre enn 50 m, og lengden på nødvendig tiltak finnes ved lengste linje gjennom hver gruppepolygon, i tillegg til en buffer på 20 m i hver ende. Bygninger med større enn 50 m innbyrdes avstand regnes som enkeltstående bygg, og her benyttes standard tomtebredde på 30m for å beregne antall løpemeter sikring. Siden alle bygningene i de definerte erosjonsutsatte sonene ligger langs vassdraget, vil feilen i denne metodikken for å beregne nødvendig antall løpemeter sikring være relativt liten. Totalt antall løpemeter langs vassdrag med antatt sikringsbehov er estimert til 222.982 m.

5 Enhetspriser

Enhetspriser for sikring mot naturfare presenteres i dette kapitlet. Disse enhetsprisene kommer fra følgende kilder:

- Empiriske data fra NVEs regionkontorer for gjennomførte sikringstiltak i tidsrommet 2010-2020
- Erfaringstall fra andre kilder enn NVE; budsjetter som Statens Vegvesen bruker, samt konkrete prosjekter fra NGIs portefølje.

Det er utledet to typer av enhetspriser: i) Enhetspris per bygg for sikring mot flom/skred ii) Enhetspris per løpemeter for enkelte sikringstiltak. Begge metodene er fulgt gjennom prosjektet for å sikre et best mulig grunnlag til beregning av kostnadsanslag senere i rapporten.

5.1 Enhetspriser fra NVEs regionkontorer

5.1.1 Innhentede data

Prosjektledelsen fra NVE har i prosjektet samlet kostnadsinformasjon om sikringstiltak fra NVEs fem regionkontorer. Datagrunnlaget fra regionene inneholdt blant annet følgende informasjon for hvert enkelt sikringstiltak:

- Deskriptive data som navn på tiltak, NVE tiltaksidentifisering, kommune, formål for sikring, anleggstype, status etc.
- Total kostnad for tiltaket i løpende verdi (kostnader oppgitt det året de påløp)
- Antall bygg som er sikret i de forskjellige sikkerhetsklasser F2, F3, S2, S3
- Sikkerhetsnivå tiltaket er gjennomført for (gjentakintervall)
- Omfang, dvs. løpemeter sikring

De rapporterte dataene for sikringstiltakene varierer. Det skyldes både at tiltakene ikke ble gjennomført under de forutsetningene som er skissert i etterspørselen (for eksempel at tiltaket var et hastetiltak i forbindelse med en akuttsituasjon, og således ikke representerer noe sikkerhetsnivå), og at en del sikringstiltak er en kombinasjon av ulike sikringstiltak som således gjør tolking av enhetspriser vanskelig. Ikke desto mindre utgjør de innsamlete dataene verdifull informasjon vedrørende enhetspriser for sikringstiltak NVE har gjennomført de senere årene.

Totalt inneholder datagrunnlaget fra NVEs regionkontorer 518 registreringer når duplikater og feilregistreringer er tatt ut. Med registreringer menes gjennomførte sikringstiltak hvor det er registrert informasjon om tiltaket med et anleggsnummer eller tiltaksnummer eller begge deler. Et tiltak vil ha et unikt tiltaksnummer, men kan omfatte flere deltiltak som har hvert sitt anleggsnummer. Tiltakene som består av flere anlegg, er justert for i de videre analysene av enhetspriser slik at de teller med kun én gang.

Tabell 5.1 Registreringer fra NVEs regionkontorer

	Antall
Registreringer	518
Antall registreringer med kostnad og antall bygg	296
Av disse flom	186
Av disse skred	110
Antall registreringer med kostnad og antall løpemeter	214

For en del av registreringene mangler det enten kostnader, antall bygg sikret av tiltaket eller antall løpemeter tiltak. Når vi justerer datagrunnlaget for manglende data gjenstår det 296 registreringer hvor vi har kostnadsdata og antall bygg som er sikret for flom og skred (186 for flom og 110 for skred). Tilsvarende har vi data for 214 registreringer hvor vi har kostnadsdata og informasjon om omfang (antall meter).

5.2 Analyse av datagrunnlaget

Etter et innledende arbeid med å konsolidere datagrunnlaget fra NVE har vi gjennomført videre analyser av datagrunnlaget.

5.2.1 Prisjustering til 2019-priser

Kostnadsdataene i grunnlaget fra NVEs regionkontorer var i løpende priser, altså kostnader for tiltakene fra det året kostnadene påløp. For at enhetsprisene for sikring per bygg eller per løpemeter skal bli sammenlignbare, har vi derfor prisjustert alle kostnadstall frem til 2019-priser. Prisjusteringen er gjort basert på SSBs byggekostnadsindeks for veganlegg. Veganlegg er ikke direkte sammenlignbart med sikringsanlegg, men dette er etter vårt skjønn den beste tilnærmingen for å prisjustere kostnadene.

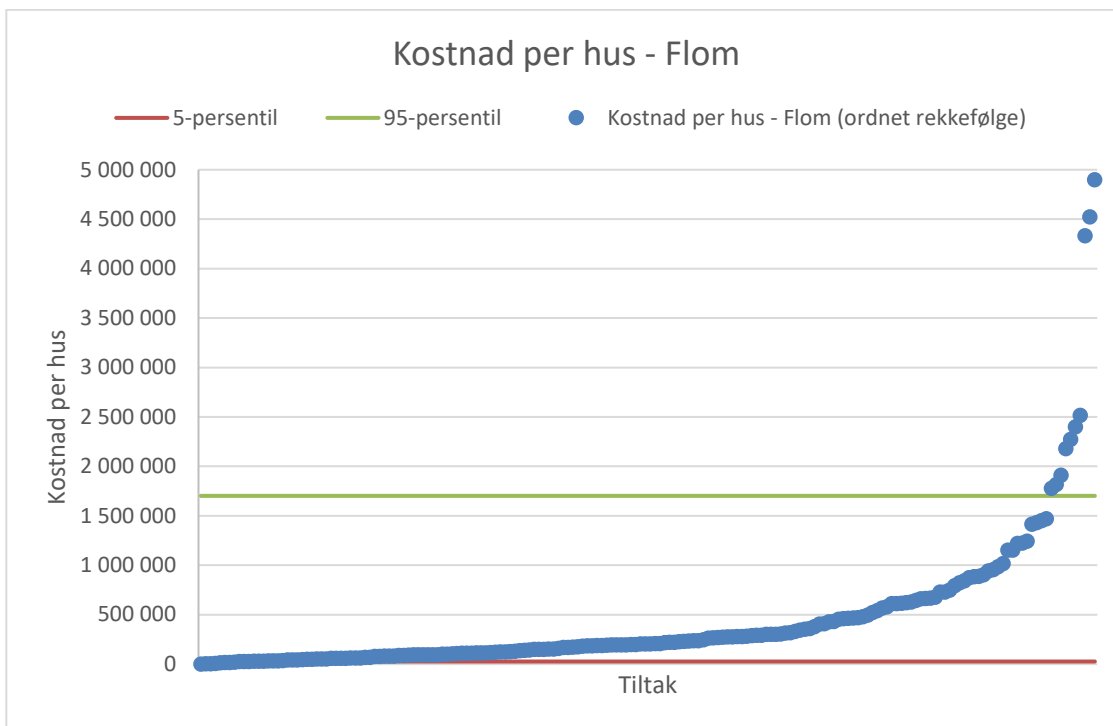
5.2.2 Statistisk analyse av datagrunnlaget

Vi har gjennomført en statistisk analyse av datagrunnlaget ved hjelp av standard statistisk metode. Formålet med analysen har vært å identifisere ekstremobservasjoner i datagrunnlaget som i stor grad påvirker mål for enhetspriser senere i analysen.

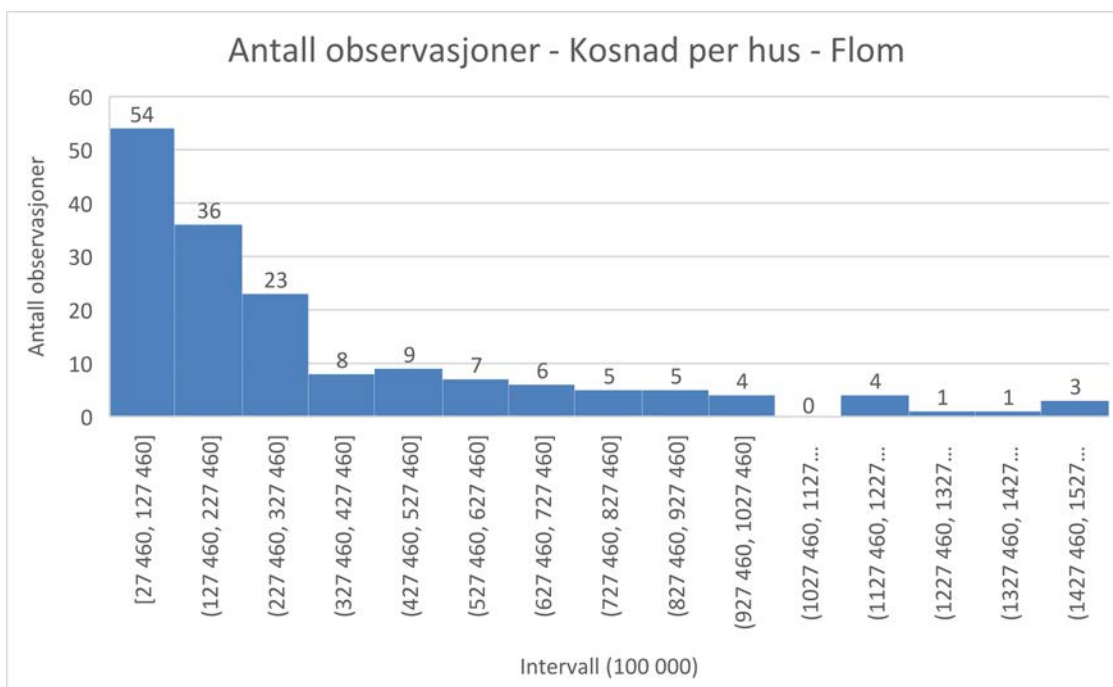
5.2.2.1 Enhetspriser per bygg for sikring mot flom (inkludert erosjonssikring)

Analyseresultater for enhetspriser for sikring per bygg mot flom er vist nedenfor i Figur 5.1 i ordnet rekkefølge fra minst til størst. Figuren viser hvordan alle de 186 observasjonene fra datasettet fordeler seg hva gjelder kostnader. Basert på visuell inspeksjon er det tydelig at det er et fåtall av observasjonene som er mye høyere enn de andre. I figuren er 5-persentil og 95-persentil lagt inn i figuren. For å unngå at ekstremverdier påvirker gjennomsnittet av enhetsprisene i for stor grad, er observasjonene som er mindre enn 5-persentilen og større enn 95-persentilen tatt ut av datasettet. Dette innebærer at 20 observasjoner tas ut av datasettet, og det gjenstår 166 observasjoner.

Figur 5.2 viser et histogram over hvordan de 166 observasjonene fordeler seg på intervaller på 100.000 fra minimumsobservasjonen og opp til maksimumsobservasjonen. De aller fleste observasjonene ligger i de nedre kostnadsintervallene, men med en lang hale mot høyere observasjoner.



Figur 5.1 Registrerte enhetspriser for flomsikring pr. bygg



Figur 5.2 Histogram over enhetspriser for flomsikring pr. bygg

Basert på de 166 observasjonene for flomsikring per bygg, står vi igjen med de deskriptive statistiske data som vist nedenfor. Den gjennomsnittlige kostnaden for flomsikring per bygg er på 338.141 kroner, mens medianen er på 204.610 kroner (Tabell 5.2). Dette gjenspeiler at fordelingen er høyreskjev som vist i histogrammet (Figur 5.2).

Tabell 5.2 Deskriptiv statistikk for justert datasett for enhetspriser flomsikring pr. bygg

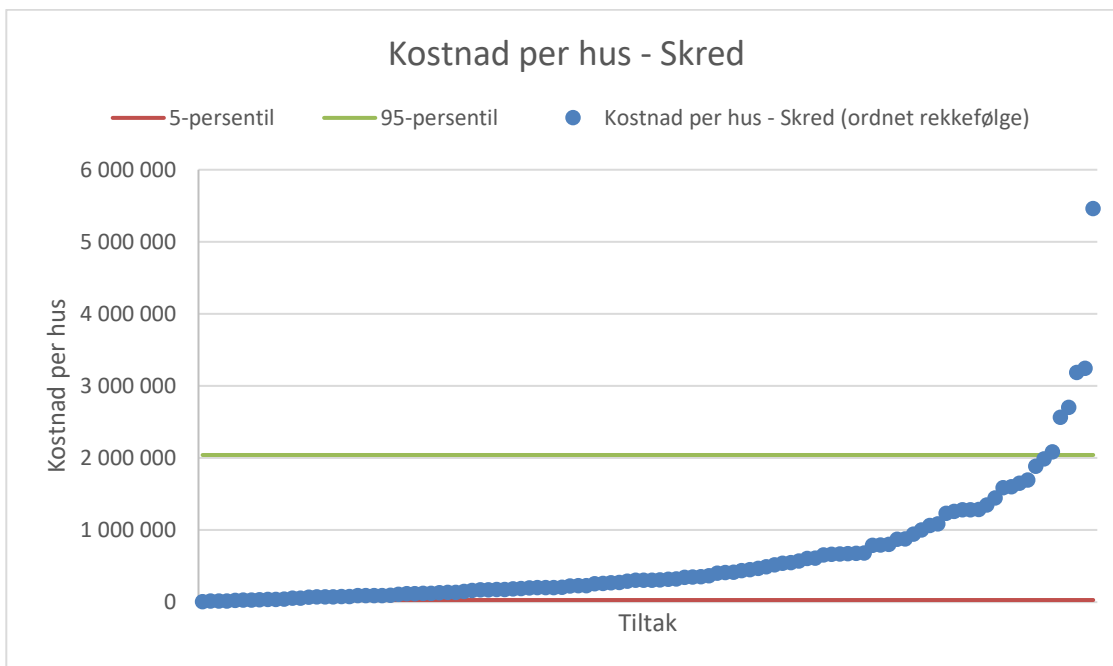
Enhetspriser per bygg - Flom	
Gjennomsnitt	338 141
Standardfeil	26 121
Median	204 610
Kvartil 25%	101 153
Kvartil 75%	462 707
Modus	#N/A
Standardavvik	336 552
Varians	113 267 042
	831
Kurtose	2,1
Skjevhet	1,6
Verdiområde	1 442 876
Minimum	27 460
Maksimum	1 470 336
Sum	56 131 418
Antall observasjoner	166
Konfidensnivå (95,0%)	51 575

5.2.2.2 Enhetspriser per bygg for sikring mot skred (inkludert erosjonssikring for kvikk-leireskred)

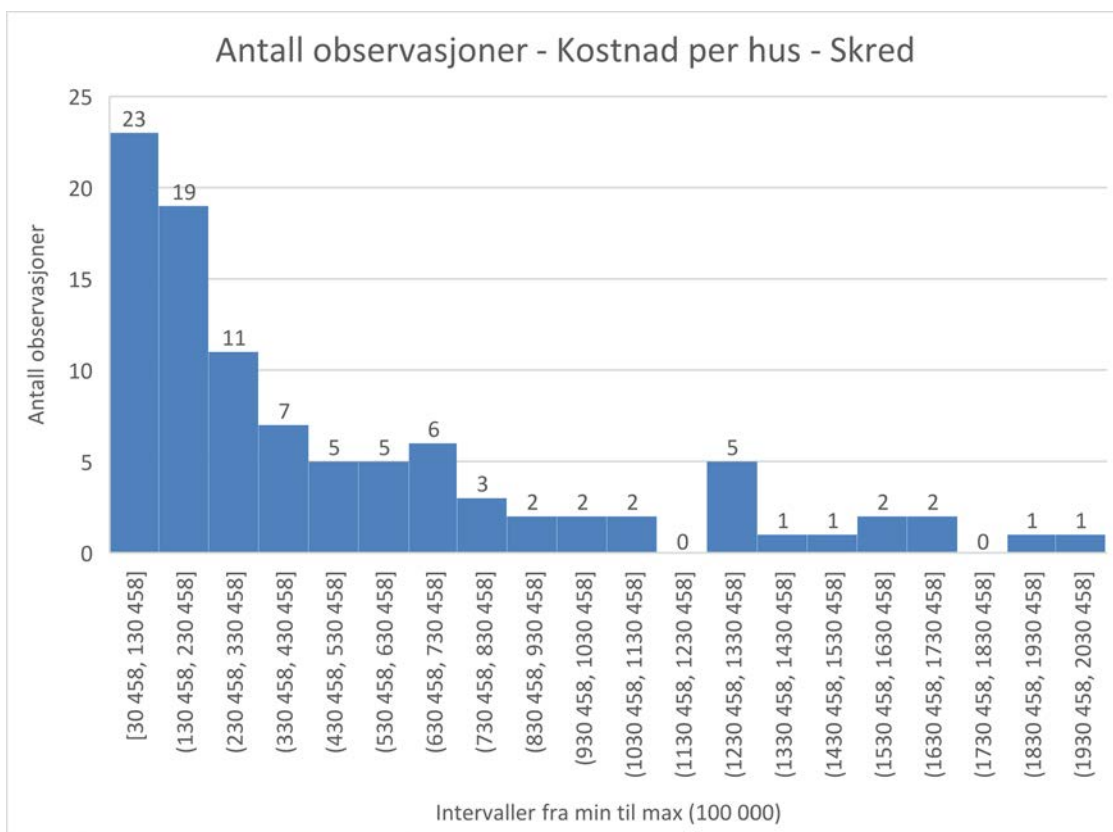
Det er gjennomført tilsvarende analyser for enhetspriser per bygg for sikring mot skred, som vist ovenfor gjort for flom.

Visuell inspeksjon av dataene viser at det også her er noen tydelige utliggere i datasettet. Figur 5.3 nedenfor viser de 110 observasjonene i ordnet rekkefølge med de samme persentilene som ovenfor. Når man tar vekk observasjonene utenfor 5-persentilen og 95-persentilen, gjenstår 98 observasjoner. Dette er i likhet med for flomobservasjonene gjort for å redusere virkningen av ekstremobservasjoner.

I Figur 5.4 er et tilsvarende histogram satt opp som for flom, for de 98 observasjonene som tas med videre. I likhet med kostnadene per bygg for flomsikring er også kostnad per bygg for skredsikring relativt høyreskjev. Det ligger flest observasjoner i de nedre intervallene i histogrammet.



Figur 5.3 Registrerte enhetspriser for skredsikring pr. bygg



Figur 5.4 Histogram over enhetspriser for skredsikring pr. bygg

I Tabell 5.3 er deskriptiv informasjon om de 98 observasjonene for kostnad for skredsikring per bygg. Her er den gjennomsnittlige kostnaden per bygg på 491.071 kroner, mens medianen er på 305.348 kroner.

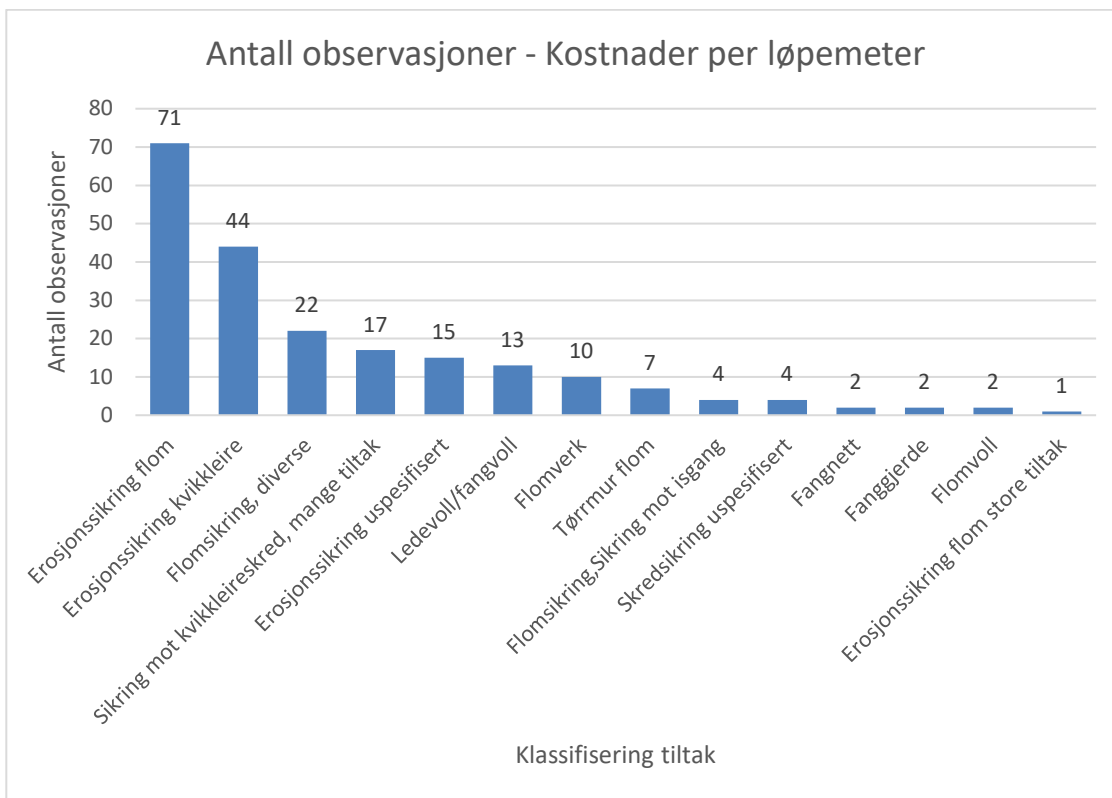
Tabell 5.3 Deskriptiv statistikk for justert datasett for enhetspriser skredsikring pr. bygg

Enhetspriser per bygg - Skred	
Gjennomsnitt	491 071
Standardfeil	48 489
Median	305 348
Kvartil 25%	133 557
Kvartil 75%	675 435
Modus	1 280 280
Standardavvik	480 013
Varians	230 412 913 691
Kurtose	1,1
Skjevhet	1,4
Verdiområde	1 959 099
Minimum	30 458
Maksimum	1 989 557
Sum	48 124 971
Antall observasjoner	98
Konfidensnivå (95,0%)	96 237

5.2.2.3 Enhetspriser for sikring pr meter

Totalt er det 214 registreringer i datagrunnlaget som inneholder informasjon om kostnad for tiltaket og antallet løpemeter. I tillegg har registreringene informasjon om hvilket formål og type anlegg det gjelder. Basert på denne informasjonen og en ekspertvurdering av registreringene er det blitt utarbeidet en klassifisering av registreringene.

Datagrunnlaget for enhetspriser for sikring per meter har en stor overvekt av erosjonssikringstiltak. Hele 115 av 214 registreringer omfattes av kategoriene Erosjonssikring flom og Erosjonssikring kvikkleire. Det er en rekke av kategoriene som kun omfatter et fåtall observasjoner (Figur 5.5).



Figur 5.5 Oversikt over antall observasjoner for kostnad per løpemeter

5.3 Enhetspriser for sikring per bygg

For å komme frem til estimer på enhetspriser for sikring per bygg har vi lagt til grunn datagrunnlaget beskrevet i kapittel 5.2. Fordelingene av observasjoner viser at det er mange observasjoner med relativt lav kostnad per bygg, mens det i fordelingene er en hale av høyere observasjoner. I utgangspunktet er det slik at i skjeve fordelinger bør man legge til grunn median som sentralitetsmål. Datasettet fra NVE har en stor overvekt av erosjonssikringstiltak og dermed tiltak med relativt lav kostnad. Dette gjenspeiler ikke funnene i GIS-analysene (Kap.4), hvor det bør brukes andre tiltak enn erosjonssikring, som er dyrere. Det er derfor valgt å bruke gjennomsnittskostnader fremfor mediankostnader som enhetspriser i kostnadsanalyser. Det er videre lagt på et usikkerhetspåslag på +/- 40 prosent på gjennomsnittet for å komme frem til et lavt og et høyt estimat. Påslaget er i tråd med usikkerheten på utredningsnivå i statlige prosjekter.

5.3.1 Skred

Basert på analysene i kapittel 5.2.2.2 er gjennomsnittet på 491.071 kroner. Denne verdien legges til grunn i de videre beregningene sammen med +/- 40 prosent for henholdsvis høyt og lavt estimat. I Tabell 5.4 er enhetsprisene for sikring mot skred som benyttes i kostnadsberegningene oppsummert. I tabellen er enhetsprisene rundet av til nærmeste tusen.

Tabell 5.4 Enhetspriser skredsikring

Skred	Lavt	Middels	Høyt
Enhetspris per bygg	295 000	491 000	687 000

5.3.2 Flom

Tilsvarende som for skred ovenfor, har vi for analysene i kapittel 5.2.2.1 lagt til grunn gjennomsnittet på 338.141 kroner. Denne verdien legges til grunn i de videre beregningene sammen med +/- 40 prosent for henholdsvis høyt og lavt estimat. Enhetsprisene for sikring mot flom per bygg er vist i Tabell 5.5. I tabellen er enhetsprisene rundet av til nærmeste tusen.

Tabell 5.5 Enhetspriser flomsikring

Flom	Lavt	Middels	Høyt
Enhetspris per bygg	203 000	338 000	473 000

5.4 Enhetspriser for sikring per løpemeter

5.4.1 Enhetspriser fra NVEs database

I Tabell 5.6 er den gjennomsnittlige kostnaden per meter gitt for enkelte sikringstiltak i datasettet fra NVE. For mange av klassifiseringene av tiltak er det få observasjoner, og den gjennomsnittlige prisen for disse må sees i sammenheng med andre kilder for å vurdere rimeligheten i tallene.

Tabell 5.6 Enhetspriser per løpemeter for enkelte sikringstiltak fra NVEs database

Klassifisering	Antall observasjoner	Gjennomsnittlig kostnad (pr meter)
Erosjonssikring flom	71	4 354
Erosjonssikring kvikkleire	44	4 425
Flomsikring, diverse	22	6 279
Sikring mot kvikkleireskred, mange tiltak	17	37 920
Erosjonssikring uspesifisert	15	3 199
Ledevoll/fangvoll	13	37 254
Flomverk	10	9 916
Tørrmur flom	7	10 417
Flomsikring, Sikring mot isgang	4	5 695
Skredsikring uspesifisert	4	6 361
Fangnett (festet på berg)	2	13 816
Fanggjerde	2	46 841
Flomvoll	2	30 343
Erosjonssikring flom store tiltak	1	14 123
Sum	214	-

5.4.2 Enhetspriser fra andre kilder

Enhetspriser per løpemeter sikring for definerte sikringstiltak fra andre kilder enn NVEs database, er gitt i Tabell 5.7. Disse kildene opererer ikke med enhetspriser per sikret bygg.

Tabell 5.7 Enhetspriser per løpemeter fra andre kilder enn NVEs database

Sikringstiltak	Enhetspris (NOK)	Enhet	Kommentar	Kilde	Referanse
Erosjonsplastring	900	m2	Budsjett	Statens Vegvesen	SVV (2018)
Tørrmur	6 000	m2	Budsjett	Statens Vegvesen	SVV (2018)
Tørrmur	3 000	m2	Pluss løsmasser	NGI	Intern kommunikasjon
Ledevoll/fangvoll	35 000	m	6 m høy, 18 m bred	Statens Vegvesen	SVV (2018)
Ledevoll/fangvoll	15-30 000	m	Inkludert tørrmur	NGI	Intern kommunikasjon
Bolting	5 500	stk.	Budsjett	Statens Vegvesen	SVV (2018)
Steinsprang-gjerde	20 000	m	Opp til 5000 kJ	NGI	Intern kommunikasjon
Fanggjerde snøskred	45 000	m	Budsjett	Statens Vegvesen	SVV (2018)
Støtteforbygning snøskred	50 000	m	Budsjett	Statens Vegvesen	SVV (2018)

5.5 Usikkerhet i enhetsprisene

Enhetsprisene for kostnad per bygg ovenfor er kun basert på datasettet fra NVE. Som følge av dette vil enhetsprisene påvirkes av usikkerhet eller skjevhet i datagrunnlaget. Blant annet er det en stor overvekt av erosjonssikringstiltak i datasettet. Dette er på generelt grunnlag tiltak som er relativt rimelige sammenlignet med andre sikringstiltak. Isolert sett kan dette dra ned verdien på de estimerte enhetsprisene. Sikringskostnad per bygg er heller ikke en vanlig måte å beregne slike kostnader på, slik at det finnes begrenset sammenligningsgrunnlag. Usikkerheten i enhetsprisene per bygg vurderes derfor å være betydelig.

Når det gjelder enhetsprisene for antall løpemeter er det hentet ut gjennomsnittlige enhetspriser basert på datasettet fra NVE. Antallet observasjoner for de ulike kategoriene er lavt med unntak av erosjonssikringstiltak og innebærer betydelig usikkerhet knyttet til få observasjoner. Imidlertid er enhetsprisene per løpemeter fra NVEs datasett sammenholdt med informasjon fra andre kilder som Statens vegvesen og erfaringer fra NGI. Enhetspriser per løpemeter fra de andre kildene viser at de ikke avviker veldig fra NVEs database. Enhetsprisene per løpemeter for sikringstiltak fra Statens vegvesen og fra NGI vurderes å være mindre usikre enn enhetsprisene per bygg.

6 Kostnadsanalyser

Vurderingen av områder med sikringsbehov og enhetspriser utgjør til sammen tilstrekkelig informasjon til å beregne totale kostnader for sikring av eksisterende bebyggelse mot flom og skred.

6.1 Beregninger basert på enhetspriser sikring per bygg, dagens klima

6.1.1 Kostnadsestimater

Analysen viser at de totale kostnadene for å sikre eksisterende bygg ligger på mellom 51 og 120 milliarder 2019-kroner (Tabell 6.1). I vårt middelsestimat er totalsummen på rundt 85 milliarder 2019-kroner. Av dette utgjør omtrent 55 prosent kostnader for sikring mot skred, mens 45 prosent knytter seg til flom. Tallene er basert på beregninger av antall bygg med antatt sikringsbehov (Kap. 4.1), og enhetspriser per bygg (Kap. 5.3).

Tabell 6.1 Kostnadsestimat basert på enhetspriser sikring per bygg

		Kostnad (mrd. kroner)		
Fare	Antall bygg	Lavt	Middels	Høyt
Skred	94 217	27,8	46,3	64,8
Flom	116 360	23,6	39,3	55,1
Totalt	210 577	51,4	85,6	119,9

6.1.2 Fylkesvise kostnadsestimater

Vurderingen av hvilke områder som har sikringsbehov, ved hjelp av GIS-analysene, gjør at kostnadsestimatene kan brytes ned på et mer detaljert geografisk nivå. Tabell 6.2 viser middelsestimatet for faretypene fordelt på fylkesnivå.

Tabell 6.2 Middels kostnadsestimat på fylkesnivå

Fylke	Flom		Skred		Sum	
	Ant. bygg	Kostnad (mrd. kroner)	Ant. bygg	Kostnad (mrd. kroner)	Ant. bygg	Kostnad (mrd. kroner)
Agder	9 487	3,2	4 408	2,2	13 895	5,4
Innlandet	20 882	7,1	4 442	2,2	25 324	9,2
Møre og Romsdal	9 741	3,3	9 896	4,9	19 637	8,2
Nordland	7 447	2,5	8 205	4,0	15 652	6,5
Oslo	2 167	0,7	3 192	1,6	5 359	2,3
Rogaland	5 436	1,8	2 919	1,4	8 355	3,3
Troms og Finnmark	10 046	3,4	7 528	3,7	17 574	7,1
Trøndelag	14 495	4,9	9 460	4,6	23 955	9,5
Vestfold og Telemark	7 526	2,5	8 898	4,4	16 424	6,9
Vestland	12 222	4,1	19 419	9,5	31 641	13,7
Viken	16 912	5,7	15 852	7,8	32 764	13,5
Sum	116 361	39,3	94 219	46,3	210 580	85,6

6.2 Beregninger basert på enhetspriser per løpemeter, dagens klima

Kostnadsestimater basert på sikring per løpemeter er gitt i Tabell 6.3. Variasjonen (lavt-middels-høyt) er i første rekke basert på type tiltak som vil brukes for de enkelte faretypene. Usikkerheten for erosjonssikring er ansett å være liten (også grunnet stort datagrunnlag i NVEs database). For flomsikring og sikring mot skred i bratt terreng, derimot, er usikkerheten ansett å være større. Dette skyldes mindre datagrunnlag fra NVEs database, og samtidig større variasjon i type anlegg som vil bli brukt i sikringen. For eksempel vil flomsikring i form av flomvoller, som er brukt i kostnadsestimatet, i mange tilfeller måtte trenge pumpesystemer som naturlig nok vil fordyre sikringen. Tilsvarende vurderinger er også relevant for sikring mot skred i bratt terreng.

Tabell 6.3 Kostnadsestimat basert på enhetspriser per løpemeter

Faretype	Antall løpemeter	Sikringstiltak	Enhetspris per løpemeter (kNOK) (Lavt-middels-høyt)	Kostnadsestimat (mrd. kroner) (Lavt-middels-høyt)
Flom	2 261 028	Flomvoll	10 – 25 - 30	22,6 - 56,5 - 67,8
Skred i bratt terreng	1 170 407	Voll/fang-gjerde	15 – 25 - 35	17,6 - 29,3 - 41,0
Kvikkleire	1 791 295	Erosjonssikring	4 – 5 - 6	7,2 - 9,0 - 10,7
Erosjon	222 982	Erosjonssikring	4 – 5 - 6	0,9 - 1,1 - 1,3
Sum	5 445 692			48,3 - 95,9 - 120,8

6.3 Oppsummering

I kostnadsanalysen har vi benyttet to ulike tilnærminger for å beregne de totale kostnadene for å sikre eksisterende bebyggelse i Norge. I den ene beregningen er det benyttet antall bygg og enhetspriser per bygg for sikring mot flom og skred. I den andre beregningen er antall løpemeter som må sikres lagt til grunn, sammen med enhetspriser per løpemeter.

Totale sikringskostnader basert på metoden med antall bygg gir en kostnad på rundt 85 mrd. kroner for å sikre eksisterende bebyggelse. Basert på metodikken med løpemeter er tilsvarende kostnad beregnet å være 96 mrd. kroner. Avviket på ca. 11 mrd. kroner mellom de to (ca. 13 % av 85 mrd. kroner) er såpass lite at det bekrefter størrelsesordenen på estimatene av de samlede sikringskostnadene.

I de videre diskusjoner i rapporten legges det til grunn estimatet basert på kostnader per bygg, altså en kostnad på 85 mrd. kroner.

Det må imidlertid understrekes at kostnadsestimatene er et produkt av mengder og priser og påvirkes derfor både av mengdeusikkerhet og prisusikkerhet. Mengdeusikkerheten knytter seg både til datagrunnlag og metodikk for analysene av hvilke områder, og dermed hvilke bygg, som ligger innenfor prosjektets kriterier for sikring. Prisusikkerheten knytter seg til de enhetsprisene som er lagt til grunn. Samlet vurderes usikkerheten i kostnadsestimatene som store.

7 Forhold som kan påvirke kostnadsestimatet

7.1 Klimaframskrivninger

Klimaframskrivninger er beheftet med stor usikkerhet, og usikkerheten øker med lengden på framskrivningen. De fleste sikringstiltak skal ha en forventet levetid på minst 80 år, og i dette prosjektet har vi derfor vurdert klimaframskrivningene fram til år 2100. Ideelt sett burde man således ta hensyn til forventet klima ved slutten av dette århundret i dimensjonering av alle tiltak som etableres og som skal ha en forventet levetid ut århundret. Usikkerheten er knyttet til begrensninger i klimamodellene, usikkerhet om klimasystemets følsomhet og naturlige variasjoner, men først og fremst til hvordan utslippene av klimagasser vil endres utover i århundret. Temperatur og nedbør er de viktigste värelementene med tanke på skred- og flomfare. Norsk klimaservicesenter har, basert på utslippsscenariet RCP8.5, anbefalt klimapåslag på 30-50 % for dimensjonerende nedbør med varighet 1-24 timer og 0 %, 20 % eller 40 % for flomvannføring avhengig av flomtype og vassdragstype (Tabell 2.1). Klimapåslaget angir hvor mye estimerte ekstremnedbørverdier bør økes med tanke på fremtidige klimaendringer, gitt fortsatt høye og økende utslipp av klimagasser (RCP8,5).

Nedbør i form av regn og snø påvirker skred- og flomfare direkte. Som vist til i kapittel 2, er nok flom er den faretypen som har nærmest kobling til nedbør og nedbørøkning. For skred, derimot, er det ikke like nær kobling mellom økning i nedbør og økning i skredhyppighet og størrelse. Her spiller en lang rekke andre faktorer også inn i forhold til utløsning av skred, skredenes volum og deres utløpslengde. Det er derfor utfordrende å anslå utviklingen av skredfaren mot år 2100. Av skredtypene har jord- og flomskred sikrest kobling til klima, i og med at de aller fleste er utløst av nedbør, ofte i kombinasjon med snøsmelting.

Faresonekartlegging for skred vil alltid ha et element av skjønn, og derfor opplever en noe forskjell i utstrekning av faresoner fra én skredeksperter til en annen. Her ligger allerede en usikkerhet i farevurderingene. I prosjektet GeoExtreme kom man ikke fram til noen enhetlig endring av faresonenes utstrekning i et 50-års perspektiv, men anbefalte at tilpasninger må gjøres lokalt (Jaedicke et al., 2008). NVEs veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (NVE 2020e) viser til at faresoner utarbeides med utgangspunkt i terreng-, klima- og vegetasjonsforholdene som er aktuelle på utredningstidspunktet og at revisjon av faresoner gjøres dersom "*klimaet i området har endret seg slik at sannsynligheten for skred har endret seg*" (fra kapittel om holdbarhet og revisjon av skredfareutredninger).

I tillegg til usikkerhetene knyttet til å estimere utviklingen av klima og flom- og skredfare ut århundret, er usikkerhetene knyttet til beregning av kostnader for å sikre eksisterende bebyggelse, som er formålet med denne rapporten, store. I tillegg er det usikkerheter knyttet til om sikkerhetskravene i TEK17 vil være gjeldende nivå i fremtiden, herunder til krav om utforming og dimensjonering av bygninger. Den estimerte totalkostnaden for sikring av eksisterende bebyggelse er sannsynligvis høyere enn det som er gjennomførbart innenfor et kort tidsperspektiv. Det vil være nødvendig med grundige nytte/kost-vurderinger, og mange mulige sikringsprosjekter vil måtte nedprioriteres på grunn av for lavt nytte/kost-forhold. På denne bakgrunnen er det i dette arbeidet ikke gjort noen egen beregning av hvor mye kostnadene for sikring vil øke fram mot 2100 som følge av klimaendringene, da dette trolig vil øke usikkerheten ytterligere. Tallene er derfor basert på antatt sikringsbehov for

eksisterende bebyggelse med dagens klima. For flom er et klimapåslag påkrevet i designkriteriene for sikringstiltak. Dette er med i de seneste erfaringstallene for kostnader og er derfor delvis innbakt i kostnadsestimatene for flomsikring.

7.2 Mulig reduksjon av sikringsbehov og kostnader mot 2100

Utgangspunktet for de estimerte sikringskostnadene er at bygninger i sikkerhetsklasse S2 / F2 og høyere skal sikres til nivå med dagens sikkerhetskrav for ny bebyggelse (TEK17). Bygninger som er klassifisert som fritidsbebyggelse, er ikke talt med. Som det framkommer av kapittel 6, vil en slik sikring av bebyggelse ha en betydelig kostnad, trolig langt høyere enn samfunnet er villig til å bruke, selv om de årlige statlige bevilgningene til sikring økes fremover. Det vil derfor være nødvendig å se på hvordan sikringsbehovet kan reduseres, uten at det går på bekostning av sikkerheten til de som er mest utsatt.

Noe av det viktigste er hvilke akseptkriterier eller sikkerhetsnivå man skal legge til grunn for eksisterende bebyggelse. Selv om vi i dette prosjektet har lagt TEK17 nivå til grunn, er det ikke gitt at dette er riktig nivå for et tilstrekkelig positivt nytte/kost-forhold for all bebyggelse. Legger man lavere sikkerhetsnivå til grunn, blir antall bygg med sikringsbehov færre, samt at kostnadene til selve sikringstiltakene i mange tilfeller også blir noe lavere. De samfunnsøkonomiske aspektene ved sikring mot flom og skred er nærmere omtalt i vedlegg B.

En streng prioritering av hvilke tiltak som skal iverksettes vil bli minst like nødvendig som i dag. GIS-verktøy av den type som er utviklet i dette prosjektet, kan være nyttig i den forbindelse. Flere enn 30.000 av de ca. 150.000 bygningene i sikkerhetsklasse S2 eller høyere, som befinner seg i en aktsomhetssone for skred i bratt terreng, er fritidsboliger eller benyttes kun som dette. Slike bygg prioriteres ikke for statlig finansiert sikring i dag, og er derfor tatt ut av denne analysen allerede.

I det følgende peker vi på en del elementer i tillegg til streng prioritering, som kan bidra til å redusere sikringskostnadene de kommende årene. Noen av disse skyldes forventede, ikke nødvendigvis valgte endringer, som vil kunne endre sikringsbehovet. Rekkefølgen nedenfor innebærer ingen prioritering av punktene.

Eksisterende sikringstiltak er ikke tatt hensyn til i beregningene i rapporten. Dette vil helt klart redusere behovet for ny sikring. Som et minimum kunne man trukket fra 2,5 mrd. kroner (2019-kroner), som NVE har brukt på sikring i perioden 2010-2019. Dette er de sikringstiltakene som er oppgitt fra NVEs regionkontorer og kun de som ligger til grunn for beregning av enhetspriser. Disse tiltakene sikrer i alt 2695 bygg mot flom og 2316 bygg mot skred. Imidlertid finnes langt flere tiltak enn disse. Det kan være eldre tiltak og tiltak finansiert av andre, som utbyggere, kommuner, Statens Vegvesen og BaneNor (Jernbaneverket). For disse har vi ikke informasjon om viktige parametere som areal eller antall bygg som er sikret, hvilket sikkerhetsnivå de er prosjektert for, eller hvilken tilstand de har i dag. Et godt eksempel på eksisterende sikring som vil ha betydning for kostnadsestimatet, er flomsikringen av Lillestrøm. Dette er et omfattende flomverk, som sikrer svært mange bygninger, og derfor vil ha betydning for den estimerte kostnaden for flomsikring. Det finnes en rekke slike tiltak, både store og små, som i sum vil bidra til å redusere den estimerte kostnaden. Grunnet manglene nevnt ovenfor, er disse ikke tatt med i beregningene i rapporten. I tillegg vil det måtte investeres relativt store summer i ettersyn

og vedlikehold av mange av disse tiltakene (Kap. 7.3) for å bringe dem opp til det sikkerhetsnivået som kreves iht. dagens TEK17.

Permanent fraflytning, dvs. tilskudd til riving og flytting fra spesielt utsatte boliger, er en del av NVEs tilskuddsordning (NVE 2021b), men brukes kun i særlige tilfeller hvor andre sikringsalternativer blir mer kostbare enn å skaffe erstatningsbolig, eller hvis etablering av fysiske sikringstiltak av andre grunner ikke er gjennomførbare. I slike tilfeller vil man måtte bekoste erstatningsbolig for de som flyttes. I en del tilfeller vil en løsning med riving og flytting kunne føre til lavere restrisiko knyttet til skade på materiell, liv og helse, økt trygghet, samt bortfall av drifts- og vedlikeholdsutgifter for et sikringstiltak.

Demografiske endringer kan endre sikringsbehovet fram mot slutten av århundret. Flytting fra bygdene til byer og tettsteder er en pågående utvikling (NOU 2020:15) og om denne trenden ikke snus, vil sannsynligvis en del områder med sikringsbehov i dag, ikke lenger ha fastboende og dermed et sterkt redusert sikringsbehov i framtida.

Levetid på bygg og fornyelse av bygningsmasse kan føre til at gamle skred- eller flomutsatte bygg ikke vil være aktuelle å sikre i fremtiden. Ved større renovering eller gjenoppbygging/nybygging vil kravene i pbl/TEK17 være gjeldende, og slik sett skal sikkerhet mot flom og skred være ivaretatt før ev. byggetillatelse kan gis.

Bedre samarbeid og koordinering mellom "sikringsaktører". Flere samfunnsaktører bygger sikringstiltak mot flom og skred. I flere tilfeller vil f.eks. sikring av en veistrekning også kunne sikre bebyggelse nedenfor veien (eller omvendt), eventuelt med noe tillegg. Dette finnes det noen eksempler på, men en tettere koordinering mellom alle aktører som planlegger og bygger sikringstiltak for bebyggelse, veier, jernbane, kraft- og kommunikasjonsinfrastruktur, etc., vil trolig være kostnadsreduserende. Et viktig aspekt her vil være langsiktige planer for sikring hos flere aktører, ettersom planlegging av de enkelte sikringsprosjekter ofte tar lang tid.

Andre metoder for sikring, enn de som ligger til grunn for beregningene i denne rapporten, kan bidra til å redusere kostnadene:

- Nye, innovative og kostnadseffektive sikringsløsninger vil trolig komme på markedet i årene fremover. Som et eksempel kan nevnes forskning på å etablere sikringstiltak mot flomskred høyt i skredbanen for å minimalisere medrivning av materiale. Slik medrivning fører oftest til en kraftig økning (mangedobling) av totalt skredvolum. Slike tiltak kan redusere behovet for kraftig sikring lenger nede i banen.
- Naturbaserte løsninger (NBS) for sikring mot skred, flom og erosjon (Kalsnes & Capobianco, 2019) utvikles ytterligere. Det er allerede i dag et krav fra Miljødirektoratet (<https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/klimatilpasning/veiledning-til-statlige-planretningslinjer-for-klimatilpasning/vurdere-naturbaserte-losninger/>) at slike løsninger skal utredes. I mange tilfeller vil ikke NBS være billigere, men slike løsninger har en rekke positive bi-virkninger (co-benefits), som vil påvirke den totale nytte/kost-vurderingen i positiv retning. NBS innebærer også tilpasset skogskjøtsel, i områder der skog utgjør naturlig sikring. Snauhugst av bratte lier forandrer forutsetningene for skredfarevurderinger totalt og er et ikke uvanlig problem.

- Varsling som sikringstiltak benyttes i dag for store fjellskred, med flodbølger som aktuell sekundær-fare. Varsling av snøskredfare benyttes sammen med midlertidig evakuering av utsatte områder i mange kommuner i Nord-Norge. Det bør dog bemerkes at varsling i hovedsak kun sikrer i forhold til liv og helse, og derfor ikke kan sidestilles med fysisk sikring når det gjelder bygninger. En videre utvikling av slike systemer vil kunne gjøre lokale og regionale beredskapsmyndigheter bedre i stand til å sette inn enkle akutttiltak, i tillegg til evakuering av folk. Dette vil redusere konsekvenser for liv og helse, samt at enkle akutttiltak (sandsekker, enkle gravemaskin-operasjoner, etc.) i enkelte tilfeller kan bidra til å sikre materielle verdier. Dette kan redusere behovet for å etablere kostbare permanente fysiske sikringstiltak, samt at varsling kan være et midlertidig tiltak i påvente av etablering av permanent fysisk sikring. For nye bygg er derimot ikke slike organisatoriske tiltak akseptert for annet enn fjellskred og flodbølger som sekundæreffekt.

7.3 Vedlikeholdsbehov

Ettersyn og nødvendig vedlikehold er avgjørende for at alle typer sikringstiltak skal opprettholde det sikkerhetsnivået de er dimensjonert for. Vedlikehold kan variere fra enkel utskifting av skadde elementer til større reparasjoner av tiltak som har vært utsatt for en belastning. Dette kan gjelde fanggjerdar som har mottatt steinsprang, eller fangdammer som må tømmes etter et flomskred. Voller som er for dårlig fundamentert, kan sette seg eller få lekkasje- og stabilitetsproblemer, og må derfor bygges opp eller repareres. Forskrift om kommunalt tilsyn med flomanlegg mv. (2005) gjelder for tilsyn med sikringstiltak mot flom og skred finansiert gjennom NVE. Denne pålegger kommunen å føre tilsyn med sikringstiltakene, samt rapportere til NVE slik at behovet for utbedringer blir avdekket.

Kostnader for vedlikehold er inkludert i NVEs verktøy for nytte/kost-analyser (nærmere omtalt i vedlegg B), der en ser på behovet gjennom hele tiltakets antatte levetid (ofte 80 år). Mange eldre tiltak er i dag dårlig vedlikeholdt, og med ukjent tilstand sikrer de neppe til det nivået de var tenkt å sikre for. Det vil derfor sannsynligvis påløpe en betydelig kostnad for å oppgradere eksisterende sikringstiltak til ønsket nivå i henhold til kravene i TEK17. Å estimere kostnaden til dette er ikke mulig uten grundige undersøkelser av dagens tilstand. Imidlertid vil det motvirke den usikkerheten som ligger i at vi kun i begrenset grad har trukket fra eksisterende sikring i kostnadsestimatet for sikring av eksisterende bebyggelse i denne rapporten.

7.4 Usikkerheter og begrensninger

Tallene som fremkommer i dette arbeidet, er beheftet med usikkerheter. Det presiseres derfor at kostnadsanalysene (Kap. 5 og 6) må sees på som relativt grove estimater. Tallenes størrelsesorden ansees imidlertid som realistisk. Samlede kostnader vil neppe endres vesentlig med oppdatert datagrunnlag eller metodikk. Imidlertid vil sikringsarbeidene som ligger til grunn for estimatene neppe være gjennomførbare i sin helhet, og man vil trolig måtte ha et langsiktig perspektiv på dette, både med tanke på budsjetter, så vel som manglende kapasitet hos NVE, hos konsulenter og i anleggsbransjen.

Både datagrunnlaget for beregningene og metodene som benyttes for å komme fram til tallene, har en rekke begrensninger. Mye av usikkerheten er diskutert i de enkelte kapitlene i rapporten, men oppsummert er de viktigste begrensningene som følger:

- Datagrunnlaget for å beregne enhetspriser for sikringstiltak (Kap. 5) er lite og variabelt. Det varierer mellom regionene, og ikke minst mellom de forskjellige sikringstiltakene. Strengt tatt er det bare erosjonssikring som har tilstrekkelig mange eksempler til at det gir et godt statistisk grunnlag. Erfaringstall fra NGI og Statens Vegvesen er brukt for å utvide grunnlaget noe.
- Effekten av eksisterende sikringstiltak er ikke tatt hensyn til, ettersom databasene for dette pr. i dag er svært lite egnet for denne type GIS-analyse og heller ikke inneholder alle tiltak mot flom og skred som sikrer bebyggelse. Å få inkludert de sikringstiltakene NVE og NGI har i egne databaser, ville trolig redusert det beregnede behovet for sikringstiltak.
- Beregning av aktsomhetssoner for de forskjellige naturfarene innebærer i seg selv relativt grove tilnærminger, noe som er helt nødvendig i et slikt overordnet arbeid.
 - For erosjon er det lite erfaringsgrunnlag og dermed vanskelig å verifisere metodikken. Estimerte aktsomhetssoner for erosjon vil gjerne være for store, men noen ganger også for små. Totalt sett vil trolig estimatet ligge relativt høyt.
 - Det er trolig noe overlapp mellom beregnet sikringsbehov mot erosjon som eget problem og sikring mot erosjon som utløsende faktor for kvikkleireskred. Det mulige overlappet ansees imidlertid som svært lite på grunn av at områdene med kvikkleireproblemer (under marin grense) er relativt begrenset i areal, samt at de ofte er flatere enn de områdene som av metodikken blir definert som erosjonsutsatte (på bakgrunn av DMNR tallet).
 - Aktsomhetsområdene for kvikkleire vil ofte omfatte arealer der boringer kan vise at de marine leirene ikke er kvikke. Dette er til en viss grad hensyntatt ved å benytte forholdstall basert på reelle vurderinger for å nedskalere estimatet, men sannsynligvis ligger også dette estimatet relativt høyt.
- Det er usikkerheter innbakt i en del av kart- og datagrunnlaget. F.eks. er de kvartærgeologiske kartene, brukt som grunnlag for farevurderinger, av noe varierende kvalitet og ikke alltid nøyaktige.
- Den største usikkerheten ligger imidlertid trolig i at metodikken for å beregne antall bygg med sikringsbehov og antall løpemeter sikring (Kap. 4) er relativt grov. For eksempel vil beregnet nødvendig lengde på et sikringstiltak mot flom og erosjon avvike fra det reelle behovet, dersom elva som skal sikres er sterkt meanderende.
- Forholdstallene som benyttes for å estimere antall bygninger med reelt sikringsbehov i forhold til totalt antall bygg innenfor aktsomhetssoner, og som er et viktig element i kostnadsestimatene, innehar en betydelig usikkerhet. Særlig utgjør dette en usikkerhet for skred i bratt terreng. Elementer i dette inkluderer:
 - Faresonekartleggingen for skred i bratt terreng er prioritert i områder med høyest risiko, noe som i praksis betyr en skjevhet i retning av mye bebyggelse og store konsekvenser av uønskede hendelser.
 - Faresonekartene er i sin natur relativt konservative i forhold til reell fare.
- Kostnadsestimatene som er beregnet for sikringstiltak per løpemeter, er basert på færre alternativer for tiltak enn de som reelt sett er tilgjengelige. Det er i all

vesentlighet sett på tiltak i utløpsområdet for skred. Steinsprang, som et eksempel, kan imidlertid også for en stor del sikres i utløsningsområdene ved hjelp av rensing, bolter og/eller nett, noe som er rimeligere tiltak enn fanggjerd og voller. Tilsvarende vil en kunne redusere faren for jord- og flomskred i mange områder med gode og rimelige dreneringsløsninger der skredet utløses. Dels grunnet et manglende datagrunnlag og at dette er vanskelig å ta inn i GIS-metodikken, er slike forhold ikke tatt inn i analysene, noe som gjør at estimatene av kostnadene per løpemeter vil ligge relativt høyt.

Dersom en ser på hvor mange bygg som reelt sett blir truffet av skred i løpet av et år, samsvarer ikke dette med den årlige sannsynligheten som ligger i TEK17 kravene, 1/1000. Dette bekrefter at usikkerheten er stor, at farekartene i mange tilfeller er konservative, og at kostnadsestimatene for sikringstiltak derfor trolig ligger i den høye delen av skalaen. Det vil derfor være et potensial for å utvikle enda bedre metoder, basert på et forbedret datagrunnlag (Kap. 8).

Analysene presentert i denne rapporten er basert på eksisterende data og faresoner kartlagt med dagens praksis. Dette er forutsetninger man må forvente revideres og endres jevnlig i fremtiden. Tilsvarende er analysene i dette arbeidet basert på dagens krav i TEK17. Disse vil mest sannsynlig også gjennomgå revisjon og endring jevnlig. I tillegg til at metodikk og datagrunnlag vil utvikles videre, er dette grunner til at nye kostnadsestimater bør utføres når nok endrede forutsetninger foreligger. Arbeidet presentert i denne rapporten vil imidlertid danne et godt grunnlag for nye analyser.

8 **Anbefalinger for videre arbeid**

For å få et enda bedre grunnlag for å vurdere fremtidige sikringsbehov for eksisterende bebyggelse mot flom og skred, er det nødvendig å fokusere på usikkerhetene som påpekes i denne rapporten (ovenfor). Særlig må det legges til rette for at datagrunnlaget forbedres. Noen viktige elementer her vil være:

- NVEs database for eksisterende sikringstiltak (SIKRID) må være oppdatert, og aller helst utvides til en felles nasjonal database som også omfatter sikringstiltak som er etablert i regi av andre enn NVE. Dette kan være kommuner eller private utbyggere, men det bør også inkludere etater som Statens Vegvesen og BaneNor, der sikring av vei og bane samtidig sikrer nærliggende bebyggelse.
- Databasen må også utvides i innhold. F.eks. vil informasjon om sikret areal og dermed antall sikrede bygg i forskjellige kategorier (S- og F- klasser) være viktige parametere. Man må også sørge for enhetlig terminologi for de forskjellige typene sikringstiltak.
- De nasjonale, landsdekkende aktsomhetskartene bør forbedres. Disse er i dag unøyaktige og er i hovedsak for konservative (angir større aktsomhetsområder enn det som er realistisk) til å kunne brukes direkte i slike analyser. For snøskred er dette arbeidet satt i gang, i og med at snøskredmodellen NAKSIN (NGI, 2020) nå skal kjøres for hele landet (med og uten skog). Tilsvarende forbedringsarbeid er også på gang med videreutvikling av både aktsomhetskart steinsprang og aktsomhetskart jord- og flomskred.
- Kun faresonekart, der detaljerte modellberegninger kombineres med feltarbeid, gir det endelige grunnlaget for å vurdere reelt sikringsbehov, samt også grunnlag for valg av sikringsløsning og dermed også kostnader. Planer for videre faresonekartlegging bør derfor revideres og planene forseres.
 - Den GIS-baserte metodikken som er utviklet og datasettene som er utarbeidet for dette prosjektet, bør kunne benyttes til det videre arbeidet med kartleggingsplaner og prioritering av områder, særlig for skred i bratt terreng.
 - NVEs nye "*Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng*" (NVE 2020e) vil sikre en bedre og mer enhetlig faresonekartlegging.
 - Innmelding av faresoner og andre grunnlagsdata (eksempelvis grunnundersøkelser) utarbeidet på oppdrag fra andre aktører enn NVE, vil også bidra til langt bedre oversikt over den reelle faren. Dette gjelder alle faretyper, både flom og skred.
 - NVE har nylig publisert en rapport om kvikkleirekartlegging, som peker på en rekke viktige momenter knyttet til denne typen kartlegging i Norge (NVE 2021c). Ekspertutvalget som er nedsatt etter skredet i Gjerdrum, ser også på dette.
 - Fare knyttet til bratte masseførende (side-)elver er i liten grad kartlagt, da NVEs faresonekart flom stort sett dekker de store hovedvassdragene. NVEs tilskuddsordning med kartlegging av kritiske punkt i vassdrag er ikke mange år gammel, så det er ikke store deler av landet som er dekket av denne typen utredninger.
 - Erosjon er tidligere kun vurdert rent kvalitativt i forbindelse med den regionale kvikkleirekartleggingen. Erosjonsfare som egen faretype er ikke tidligere inkludert i faresonekartlegging. Flere hendelser, som flommene på Østlandet i 2013 og på Vestlandet i 2014, har vist at erosjon og

massetransport er et reelt problem og at mange bebygde områder er sårbare for erosjon og massetransport. En plan for faresonekartlegging bør inkludere også denne tematikken. Metodikken utarbeidet i dette prosjektet kan være et utgangspunkt for å definere og prioritere områder for slik kartlegging. Det er trolig et potensiale for å videreutvikle denne metodikken videre. Herunder vil en kvantitativ tilnærming være nødvendig.

- o Hendelsesdata fra for eksempel NVEs flomdatabase www.flomhendelser.no vil kunne være nyttig ved fremtidige utredninger av flom- og erosjonsfare.
- Usikkerhetene knyttet til kostnader for forventet vedlikehold av de ulike typene sikringstiltak er trolig et tema det bør sees nærmere på, og som vil kunne bidra til å minke usikkerhetene ved senere kostnadsanalyser.
- Vedlikeholdskostnader ved eksisterende anlegg er en økende utfordring. Mange av disse er i ferd med å nå sin tekniske levetid og har behov for tyngre vedlikehold og oppgradering for å fylle dagens krav til sikkerhet og klimatilpasninger. Samfunnet la i sin tid ned store ressurser i å etablere disse anleggene – delvis med finansiering fra andre kilder enn NVE. Det bør utarbeides en oversikt og strategi for hvordan slike anlegg skal følges opp og vedlikeholdes.

9 Referanser

- Busengdal, M., (2019): Validering og testing av nye aktsomhetskart for snøskred i Norge (NAKSIN). MSc. oppgave. Institutt for geofag, Universitetet i Oslo, 164pp.
- Busengdal, M. & Issler, D. (2018): Kildekode til NAKSIN. NGI Teknisk notat 20150457-08-TN. Norges Geotekniske Institutt (NGI): Oslo, Norge.
- DiBiagio, A. J. (2020): Numerisk modellering av erosjonsutløste kvikkleireskred. Masteroppgave, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo. 173pp.
- Domaas, U., & Grimstad, E. (2014): Fjell- og steinskred. I HØEG, K., & LIED, K.(eds.) Skred: skredfare og sikringstiltak: praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper. Oslo: Universitetsforlaget.
- Dorren L.K.A., (2015): Rockyfor3D (v5.2) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model. EcorisQ paper (www.ecorisq.org): 32 pp
- Dyrørdal, A. V. & Førland, E. J. (2019): Klimapåslag for korttidsnedbør. Anbefalte verdier for Norge. NCCS rapport 5/2019.
- Finansdepartementet (2014): R-109/14 Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv.
- Finans Norge (2021a): Klimarapport 2021.
- Flügel, S., Veisten, K. & Ramjerdi, F. (2010): Den norske verdsettingsstudien: utrygghet. TØI Rapport 1053-G, Transportøkonomisk institutt (TØI), Oslo
- Grann, Siv Linette (2011): Utrygghet for flom -En betinget verdsettingsstudie. Masteroppgave, NMBU.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg & A., Ådlandsvik, B. (2015): Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. Oslo: Hentet fra: https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/_attachment/6616?_ts=14ff3d4eeb8
- IPCC (2014): AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jaedicke, C, Solheim, A., Blikra, L.H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K., Sletten, K., Kristensen, K., Barstad, I., Melchiorre, C., Høydal, Ø.A. & Mestl, H., (2008): Spatial and temporal variations of geohazards in Norway under a changing climate, the GeoExtreme Project, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 893-904.
- Kalsnes, B & Capobianco, V. (2019): Nature-Based Solutions. Landslides Safety Measures. Klima 2050 Report 16. Trondheim 2019. ISBN:978-82-536-1638-4
- L'Heureux, J.S., Ø. Høydal, A.P. Paniagua Lopez, S. Lacasse (2018): Impact of climate change and human activity on quick clay landslide occurrence in Norway. Second JTC1 workshop on triggering and propagation of rapid flow-like landslides, Hong Kong 2018.
- Lied, K. & Bakkehøi, K. (1980): Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. Journal of Glaciology, 26(94), 165-177.
- Myhre, G., Alterskjær, K., Stjern, C.W., Hodnebrog, Ø., Marelle, L., Samset, B. H., Sillmann, J., Schaller, N., Fischer, E., Schulz, M. & Stohl, A. (2019): Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. Scientific reports, 9(1), 1-10. Hentet fra <https://www.nature.com/articles/s41598-019-52277-4.pdf>
- NGI (2020a): Approaches to Including Climate and Forest Effects in Avalanche Hazard Indication Maps in Norway. 20150457-10-TN, 20pp.
- NGI (2020b): ROS- naturfare; Metodikk for og analyse av risiko- og sårbarhet i tidlig planfase. NGI rapport 20180631-R-1.

NGI (2021): Jord- og flomskred: Klimaanalyse for bruk i skredfarekartlegging. NGI rapport 20200323-01-R, 41pp.

NGU (2014): Aktsomhetskart jord- og flomskred: metodeutvikling og landsdekkende modellering. Rapport nummer 2014.019.

Nilsen, B. (2016): Ingeniørgeologi-Berg: grunnkurskompendium. Utg. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for geologi og bergteknikk.

Norsk Klimaservicesenter (2015): Klima i Norge 2100.

Norsk klimaservicesenter (2019): Klimapåslag for korttidsnedbør - Anbefalte verdier for Norge. NCCS report 5/2019.

NOU (2020): 15 'Det handler om Norge — Utredning om konsekvenser av demografiutfordringer i distriktene'

NVE (2009): Veileder for dimensjonering av erosjonssikringer av stein. NVE Veileder 4/2009

NVE (2010-2019): Å årsrapporter for utførte sikringstiltak 2010-2019. <https://publikasjoner.nve.no/rapport/20xx>.

NVE, (2011): Plan for skredfarekartlegging: Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi. NVE Rapport 14/2011

NVE, (2015): Oppsummeringsrapport for skog og skredprosjektet. Samanstilling av rapportar frå prosjektet. NVE Rapport 92/2015. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_92.pdf

NVE (2016): Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE Rapport 81/2016

NVE (2019): Brukerveiledning, Nytte/kost-verktøy NKA-2016 v 1.32b.

NVE (2020a): Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. NVE Veileder Nr. 1/2019. 83pp.

NVE (2020b): Plan for flomfarekartlegging 2021-2025. NVE Rapport 33/2020.

NVE (2020c): Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred. NVE Ekstern Rapport Nr. 9/2020. Metodebeskrivelse: NGI.

NVE (2020d): Kartlegging av fare og risiko på elvevifter: klassifisering av elvevifter ved hjelp av geomorfoner og Meltons ruhetsindeks. NVE Rapport nr. 32/2020

NVE (2020e): Kvikkleiresoneutredning "light". Risiko for kvikkleireskred i Rissa kommune (nå Indre Fosen). Ekstern Rapport nr. 3/2020

NVE (2020f): Kvikkleiresoneutredning "light". Risiko for kvikkleireskred i Levanger/Inderøy kommuner. Ekstern Rapport nr. 4/2020

NVE (2020g): Kvikkleiresoneutredning "light". Risiko for kvikkleireskred i Verdal kommune. Ekstern Rapport nr. 5/2020

NVE (2020h): Kvikkleiresoneutredning "light". Risiko for kvikkleireskred i Stjørdal kommune. Ekstern Rapport nr. 6/2020

NVE (2020i): Kvikkleiresoneutredning "light". Risiko for kvikkleireskred i Steinkjer kommune. Ekstern Rapport nr. 7/2020

NVE (2020c): Produktark: Flom aktsomhetsområder. https://gis3.nve.no/metadata/produktark/Produktark_aktsomhetsomrader_flom_01092020.pdf

NVE (2020j): Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. [versjon]. <https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng>. Lokalisert på Internett 25.03.2021)

NVE (2020kl): Produktark: Flom aktsomhetsområder. https://gis3.nve.no/metadata/produktark/Produktark_aktsomhetsomrader_flom_01092020.pdf

NVE (2021a): Nasjonal skredhendelsesdatabase Lastet ned mars 2021.

NVE (2021b): Tilskuddsregelverket. <https://www.nve.no/flaum-og-skred/sikrings-og-miljotiltak/tilskuddsregelverket/>

NVE 2021c. Kvikkleirekartlegging – metoder, status og videre arbeid. NVE rapport 12/2021.

Ortega, R. og Schneevoigt, N. J. (2012).: «Modelaje de flujos de detritos potenciales a partir de un modelo de elevación digital RMT (Shuttle Radar Topography Mission): cuenca alta del río Chama, noroeste de Venezuela». I: Revista Geográfica Venezolana årg. 53, nr. 1.

Seiedler, C.E. (2015): Samfunnsøkonomiske kostnader av Gudbrandsdalsflommen 2013. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 5 Håndtering av flom og vann på avveie. NIFS rapport 2015/93.

Simpson, M. J. R., Nilsen, J.E.Ø., Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H.P., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M. & Vestøl, O. (2015): . Sea Level Change for Norway: Past and Present Observations and Projections to 2100. Norwegian Centre for Climate Services report 1/2015, ISSN 2387-3027, Oslo, Norway

SSB (2021): (Byggekostnadsindeks for veganlegg, Veganlegg, i alt) Kap.5.2.1 <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/byggekostnadsindekser/statistikk/byggekostnadsindeks-for-veganlegg>

Statens Vegvesen (2014): Håndbok V224, Fjellbolting.

Statens Vegvesen (2018): Håndbok V712 Konsekvensanalyser.

Statens Vegvesen 2019: Skred. Skredsikringstiltak på riks- og fylkesveier i Region Midt Møre og Romsdal og Trøndelag. MIME 18/201058. 30pp.

Uzielli, M, Choi, J.C & Kalsnes, B. (2017): A web-based landslide risk mitigation portal. In M.Mikos et al. (eds): Advancing culture of living with landslides, Volume 3 – Advances in landslide technology, p. 431-438. Springer International Publishing AG 2017, doi.org/10.1007/978-3-319-53487-9_50

Vedlegg A

Metodikk for farevurderinger

Innhold

A1	Snøskredfare	2
A1.1	NAKSIN - Nye Aktsomhetskart for Snøskred I Norge	2
A2	Steinsprangfare	3
A2.1	Rockyfor3D	3
A3	Jord- og flomskredfare	5
A3.1	Jordskred og små flomskred	5
A3.2	Mellomstore flomskred	8
A4	Kvikkleire	8
A5	Flom	10
A6	Erosjon	12

A1 Snøskredfare

Dagens landsdekkende aktsomhetskart for snøskred

(<https://temakart.nve.no/tema/SnoskredAktsomhet>) er beregnet på en grov terrengmodell (25 x 25 m) og tar ikke hensyn til lokalt klima eller vegetasjonsforhold. Dette gjør at mange områder blir markert med snøskredfare til tross for at det ikke kommer nok nedbør i form av snø til at snøskredfaren er reell. Dette er bakgrunnen for å utvikle snøskredmodellen NAKSIN. Modellen er kjørt for hele landet for å lage bedre aktsomhetskart til bruk i FOSS 2040 prosjektet.

A1.1 NAKSIN - Nye Aktsomhetskart for Snøskred I Norge

NAKSIN (Nye AktsomhetsKart for Snøskred I Norge) er et verktøy utviklet av NGI for å generere nye aktsomhetskart for snøskred. De nye aktsomhetskartene tar hensyn til de lokale klima- og vegetasjonsforholdene og er utviklet på oppdrag for Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Skredets utløpsdistanse simuleres av beregningsprogrammet MoT-Voellmy som skal gjengi utløpsområdet. Utløpsområdet definerer aktsomhetssonen. Ved benytte en 10 m DTM og å implementere data som klima, terreng og skog (friksjonskoeffisientene avhenger bl.a. av klimaforholdene og skogegenskaper), vil de nye kartene fremstå mer realistisk enn de nåværende aktsomhetskartene (Figur A1.1). MoT-Voellmys kildekode er utarbeidet av NGI (Busengdal & Issler, 2018). Generering av kartene skjer på en semi-automatisk måte, som krever at brukeren justerer noen manuelle parametere. Det vil i tillegg være noen valgmuligheter slik at snøskred eksperter kan oppnå best mulig resultater (Busengdal & Issler, 2018; NGI, 2020).

NAKSIN er implementert i Python 3 ettersom de fleste geografiske informasjonssystemene (GIS) tilbyr et Python-applikasjonsgrensesnitt (API). Simuleringsverktøyet MoT-Voellmy kan enkelt startes fra en Python rutine. De geografiske inndataene (DTM, klima og skog) og NAKSINs utdata – aktsomhetskart – er alle rasterfiler i enten ESRI ASCII Grid eller BinaryTerrain 1.3 format (NGI, 2020). Dette gjør visualisering i GIS enkel.

NAKSIN er fortsatt på utviklingsstadiet, men er tilstrekkelig testet, blant annet i en ny mastergradsoppgave ved Universitetet i Oslo (Busengdal, 2019) til at den er valgt som verktøy for snøskredanalysene i dette prosjektet.

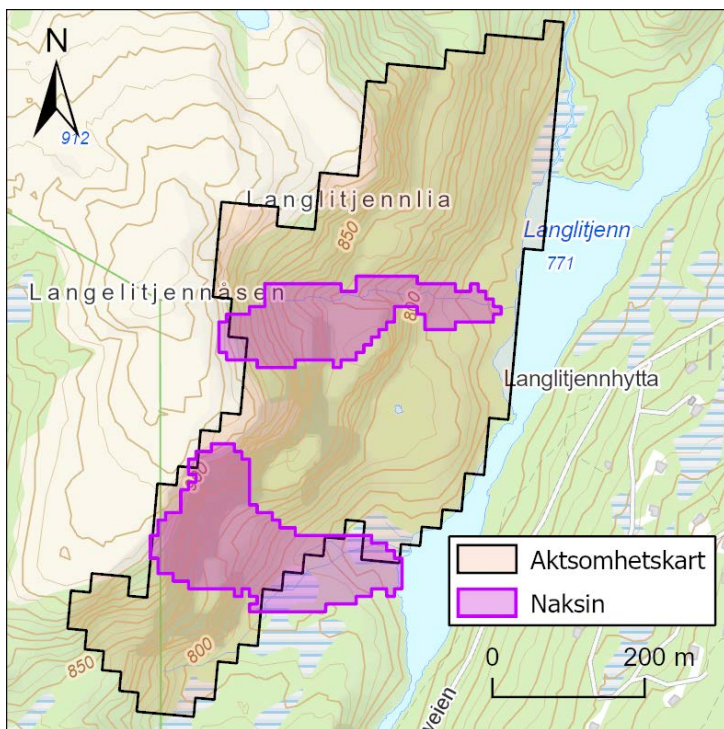


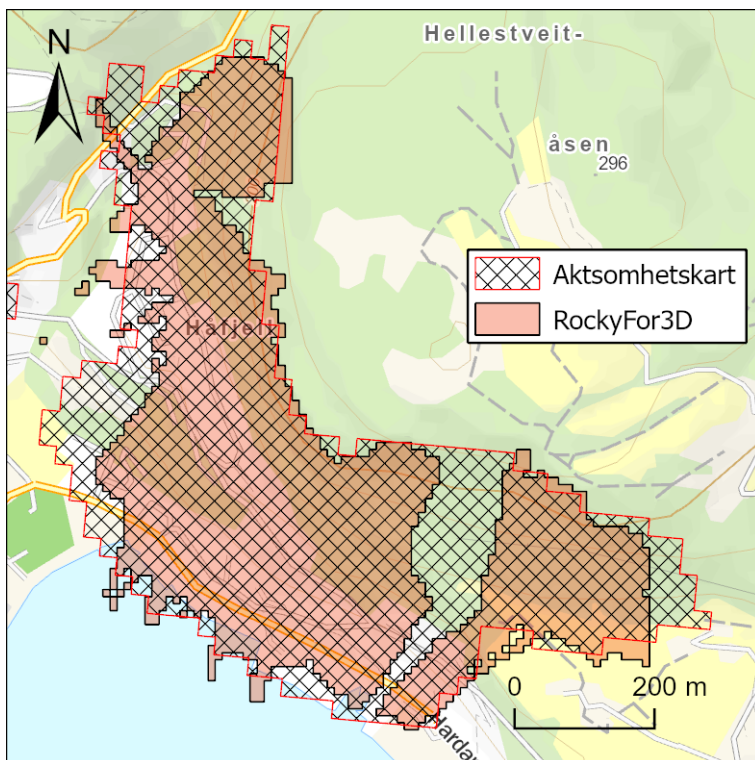
FigurA1.1 Illustrasjon av forskjellen i utstrekning av aktsomhetssoner beregnet med NAKSIN og opprinnelige aktsomhetskart for snøskred.

A2 Steinsprangfare

Som for snøskred er de landsdekkende aktsomhetskartene for steinsprang (<https://temakart.nve.no/tema/SteinsprangAktsomhet>) i utgangspunktet noe konservative (angir urealistisk store aktsomhetsområder). De er dessuten basert på en grov terrengmodell (25 x 25 m), noe som gjør at skrenter på opptil 5 m høyde i verste fall kan utelates fra beregnede utløsningsområder, og en empirisk-statistisk modell for utløp basert på mer enn 120 undersøkte steinsprang. For å få et mer realistisk grunnlag for farevurderingene i dette arbeidet, er et nytt sett aktsomhetskart beregnet for hele landet med modellverktøyet Rockyfor3D (Dorren, 2015).

A2.1 Rockyfor3D

Modellering av steinsprang for dette prosjektet er gjort med 'Rockyfor3D', en deterministisk, stokastisk modell som beregner utløp av steinsprang som enkeltblokker (Dorren, 2015). Blokkvolum og blokkform fastsettes, og utløpet som beregnes kan inkludere interaksjon med vegetasjon og ev. sikringstiltak. Figur A2.1 viser et eksempel på aktsomhetsområde beregnet for dette prosjektet med Rockyfor3D sammen lignet med opprinnelig aktsomhetskart for steinsprang.



Figur A2.1 Aktsomhetssoner beregnet med Rockyfor3D for dette prosjektet og soner opprinnelig aktsomhetskart for steinsprang.

Av hensyn til prosesseringstiden er modellen kjørt for hele landet med funksjonen 'Rapid Automatic Simulation' (RAS). Modellen trenger en rekke input parametere, og de som er input til RAS kjøringen er angitt i parentes nedenfor:

- Antall simuleringer per celle (10)
 - Antall blokker som simuleres fra hver celle i terrenngmodellen.
- Variasjon av blokkvolum (+/- 20%)
 - Gir mulighet til å legge inn variasjon av forhåndsdefinert blokkvolum
- Ekstra startfallhøyde (0 m)
 - Blokker kan gis ekstra oppstarts-energi ved å gi dem ekstra fallhøyde i starten
- Terrenngmodell (10 m)
 - Terrenngmodellen (raster) som ønskes brukt.
- Beregningsområde (hele landet)
 - En polygon som definerer hvilket område beregningene skal kjøres for. En enkelt polygon må være selektert.
- Løsneområde
 - RAS beregner nedre helnings-grense for utløsningsområdet (helning α) slik:

$$\alpha = 55 * \text{cellsize}^{-0.075}$$
 Med 10 m DTM blir dette 46.28° som nedre grense for utløsningsområde.

➤ Bakketype og ruhet

- Det er seks forskjellige forhåndsdefinerte bakketyper med ulike overflatekvaliteter, som det er mulig å velge blant. RAS funksjonen beregner bakketype og ruhet automatisk basert på helning. Dette er selvsagt en forenkling, men tidsmessig nødvendig når en skal kjøre modellen for hele landet.

Modellen gir bl.a. resultat i form av *reach probability*, som gir en relativ sannsynlighet for hvordan terrenget bremser opp, sprer (eller styrer) blokkene. Hastighet og energi gir indikasjoner om rekkevidde.

A3 Jord- og flomskredfare

For jord- og flomskred er det ikke gjort noen optimalisering av aktsomhetskartene (<https://temakart.nve.no/tema/jordflomskredaktsomhet>), som er basert på terrengmodell med bedre oppløsning enn aktsomhetskartene for snøskred og steinsprang. Imidlertid er valgt å benytte klassen 'mellomstore flomskred' som grunnlag for farevurderingene i dette prosjektet. Dette er en videreføring av den opprinnelige metodikken for 'jordskred og små flomskred' (NGU, 2014), og derfor er begge beskrevet nedenfor.

A3.1 Jordskred og små flomskred

Aktsomhetskartet er laget ved hjelp av to numeriske modeller (NGU, 2014):

- En for kildeområder
- En for skredutløp

Både identifiseringen av kildeområder og utløpsmodelleringen er basert på Kartverkets nyeste landsdekkende digitale høydemodell (DHM) med 10 m oppløsning. *Kildeområdene* blir identifisert ved hjelp av en empirisk tilnærming som analyserer tre topografiske egenskaper;

- Helningsvinkel
- Planarkurvatur
- Størrelse på det vanntilførende dreneringsområdet

Helningsvinkel og planarkurvatur beregnes med ArcGIS, mens vanntilførende område beregnes i RiverTools v3.0 (©Rivix, LLC; <https://rivix.com/>). En DHM-celle er regnet som et kildeområde når den oppfyller terskelkriteriene for alle de tre egenskapene samtidig. Terskelverdiene er tilpasset for ulike regioner som er inndelt etter prosedyrene beskrevet nedenfor.

Selve terskelverdiene er tilpasset forskjellige regioner i Norge, basert på topografiske, morfologiske og geologiske soneringsdata. Hvilke terskelverdier som skal benyttes, leses ut fra et soneringskart med 18 soner, som er laget ved å kombinere en DHM-datakilde, løsmasseklasse og skredaktivitetsklasse. *DHM-datakilden* skiller mellom områder

som er basert på FKB-data og har høy kvalitet og områder som er avledet fra den landsdekkende 50x50 m DHM.

Da jord- og flomskred utløses i løsmasser, må startsonemodelleringen tilpasses løsmassetypene i området. Løsmassetypene hentes fra den nasjonale løsmassedatabasen ved NGU. Løsmassetypene er inndelt i 3 *løsmasseklasser* valgt med hensyn til hvor sensitive de respektive løsmassetypene generelt er for utløsning av jord- eller flomskred:

- Klasse I (mest sensitive): skredmateriale/skredavsetninger
- Klasse II (middels sensitive): øvrige løsmasser (morene, innsjø-/marine avsetninger, torv/myr/humus)
- Klasse III (minst sensitivt): bart fjell

Variasjoner i berggrunn og klima spiller også en stor rolle for potensialet av utløsning av jordskred. Norges landareal deles opp med hensyn til grad av synlige jord og flomskredspor, som et landsdekkende konsistent datasett av fortidens massebevegelsesaktivitet. Norgei3D (Norkart) brukes for visuelle analyser av landskapet, som er høy-oppløselige flyfoto over hele landet drapert over en terrengmodell. Ut fra dette lages et datasett med områder delt inn i følgende *skredaktivitetsklasser*:

- 1) høy
- 2) middels
- 3) lav eller ingen jord eller-flomskredaktivitet.

Ved å kombinere DHM-datakilden, løsmasseklasser og skredaktivitetsklasser, får en det endelige soneringskartet med 18 soner/terskelverdisett som kan brukes i startsonemodelleringen (Figur A3.1).

LØSMASSEKLASS

AKTIVITETSKLASS								
	HØY: 1	MIDDELS: 2	LAV: 3	HØY: 1	MIDDELS: 2	LAV: 3		
SKREDAVSETN. : I	1 ° min: 23 ° max: 45 curv: -0.75 contr: 0.0045	4 ° min: 23 ° max: 45 curv: -1 contr: 0.007	7 ° min: 23 ° max: 45 curv: -1.1 contr: 0.008	10 ° min: 25 ° max: 45 curv: -0.5 contr: 0.006	13 ° min: 25 ° max: 45 curv: -0.6 contr: 0.008	16 ° min: 25 ° max: 45 curv: -0.7 contr: 0.01		
	ØVRIGELØSM. : II	2 ° min: 24 ° max: 45 curv: -1 contr: 0.007	5 ° min: 24 ° max: 45 curv: -1.15 contr: 0.0075	8 ° min: 25 ° max: 45 curv: -1.4 contr: 0.009	11 ° min: 25 ° max: 45 curv: -0.6 contr: 0.008	14 ° min: 25 ° max: 45 curv: -0.8 contr: 0.009	17 ° min: 25 ° max: 45 curv: -1 contr: 0.012	
		BARTJELL: III	3 ° min: 27 ° max: 45 curv: -1.5 contr: 0.01	6 ° min: 27 ° max: 45 curv: -1.7 contr: 0.012	9 ° min: 28 ° max: 45 curv: -2 contr: 0.015	12 ° min: 28 ° max: 45 curv: -1.2 contr: 0.01	15 ° min: 28 ° max: 45 curv: -1.5 contr: 0.015	18 ° min: 28 ° max: 45 curv: -1.5 contr: 0.02
			FKB			N50		
DHM-datakilde								

Figur A3.1 Endelig terskelverdisett med 18 klasser i jordskred/små flomskred-startsone-modellen. Min og max er helningsvinkel i grader, curv. er planarkurvatur i m-1, contr. er nedbørstilførende areal i km2 (NGU, 2014).

Skredutløpet blir beregnet fra hver startsone ved hjelp av en "multiple flow direction" modell i verktøyet FlowR, som tar hensyn til topografien langs utløpet. Med en probablistisk metode beregner modellen i hvilken retning skredet beveger seg. Sikteveinkelen (gjennomsnittshelling mellom start- og sluttpunkt for skredbanen) og en angitt kinetisk energibegrensning bestemmer skredets utløpsrekkevidde. Modelleringen tar ikke hensyn til vegetasjon og bebyggelse, og andre terrenginngrep som for eksempel skogsbilveger vil kun påvirke modelleringen av skredutløpet i den grad inngrepet synes i DHM.

Algoritmene for utløpslengden er enkle energibaserte beregninger som er basert på grunnleggende friksjonslover. De definerer hvorvidt skredet potensielt kan nå en annen celle, og kontrollerer dermed lengden av utløpet. I tillegg kan de redusere sidelengs spredning. Siden skredets masse er ukjent (modellen jobber kun etter topografiske basisdata, uten informasjon om skredvolum eller masse) er modellen basert på en ligning for energi per enhet, endring i den potensielle energi og et konstant friksjonstap.

A3.2 Mellomstore flomskred

Metoden ovenfor er for jordskred og små flomskred, og det er en egen utvidet metode for mellomstore flomskred (<https://temakart.nve.no/tema/jordflomskredaktsomhet>). Dette er for å fange opp startsoner med større vanntilførende områder, i tillegg med lavere skråningsvinkel, som kan være typisk for mellomstore flomskred. I tillegg må kurvaturen være noe mer utpreget, som betyr at det fokuseres sterkere på kanaliserte skredtyper, som i et bekkeløp.

Den utvidede modellen er basert på samme prinsipp som for jord- og små flomskred. Terskelverdiene er dermed tilpasset for flomskred, og det brukes i tillegg en funksjon som beskriver forholdet mellom helningsvinkel og størrelse på det vanntilførende området. For mellomstore flomskred er det fremdeles nødvendig med ulike terskelverdier for de forskjellige aktivitetssonene, men det er ikke nødvendig med forskjellig terskelverdi for de ulike løsmassetypene eller DHM-sonene (Figur A3.2).

AKTIVITETSKLASS		
HØY: 1	MIDDELS: 2	LAV: 3
1	2	3
° min: 15	° min: 15	° min: 15
° max: 32	° max: 32	° max: 30
curv: -1.5	curv: -1.5	curv: -1.5
contr: 0.08	contr: 0.1	contr: 0.15

Figur A3.2 Terskelverdisett for startsonene i den utvidede modellen for mellomstore flomskred (NGU, 2014).

Basert på vurderinger gjort av NGI (2020) er aktsomhetskartene for "mellomstore flomskred" benyttet som grunnlag for vurderingene gjort i denne rapporten. Disse vurderingene er blant annet basert på feltbefaringer, der aktsomhetssonene for den lavere kategorien ga for konservative estimater, og dermed flere og større fareområder enn det som er realistisk.

A4 Kvikkleire

Fordi store deler av de aktuelle områdene under marin grense ennå ikke er kartlagt for kvikkleirefare, er det utviklet en egen metodikk for å definere aktsomhetsområder for hele landet i FOSS 2040 prosjektet. Metoden tar selvsagt hensyn til kartlagte soner (<https://temakart.nve.no/tema/kvikkleire>), som et viktig element i datagrunnlaget.

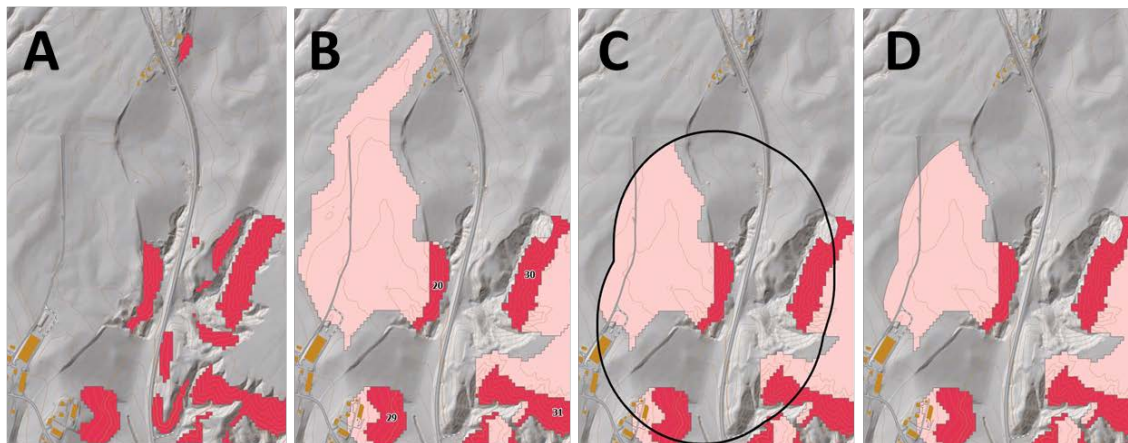
Datagrunnlaget som ligger til grunn for analysene er:

- Identifiserte kvikkleirefaresoner med lav, middels eller høy faregrad (<https://temakart.nve.no/tema/kvikkleire>). I de fleste tilfelle er disse faresonene basert på relativt begrenset datagrunnlag (oftest kun én boring), men i enkelte tilfeller finnes det mye data.
- Løsmassekart fra NGU (<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>) angir kartlagte løsmasser for hele landet. I dette prosjektet er områder klassifisert som marine sedimenter (oftest leire) betraktet som potensielle områder med kvikkleire. I tillegg er en rekke andre løsmassetyper (se nedenfor) inkludert når disse ligger under marin grense, fordi marine sedimenter kan finnes under disse.
- Digital terrengmodell (DTM) med oppløsning 10 m. Hvilken skråningshelning som er kritisk mht. stabilitet med påfølgende kvikkleireskred avhenger av de geotekniske egenskapene til jorda, samt hvilke mekanismer som potensielt kan utløse et skred (erosjon, ugunstig pålasting/avlasting).

Følgende elementer er benyttet i å definere aktsomhetsområder ved hjelp av GIS analyse der det ikke finnes allerede kartlagte faresoner:

- Definere områder under marin grense
- Finne skråninger med en helning mellom 1:1,5 og 1:5. Disse grenseverdiene er valgt fordi en anser at kvikkleireskred vil ikke utløses i slakere skråninger og at brattere skråninger ikke inneholder kvikkleire.
- Fjerne skråninger med areal mindre enn 7500m². (Dette arealet ble funnet å være en god avveining for å unngå for mange små arealer, og valgt etter testing av forskjellige grenseverdier i et område på Romerike).
- For hver identifisert skråning etter kriteriene over, utføres deretter:
 - Finner skråningens 'nedbørsfelt', basert på topografi og en strømningsanalyse med programmet 'FLOW-2D'. dette er i utgangspunktet 'utsatt område'.
 - Finner skråningshøyden.
 - Lager en buffer tilsvarende 15 x skråningshøyden (dette forholdet er valgt for at de nye aktsomhetsområdene, definert i dette prosjektet skal være noe mindre konservative (omfattende) enn kartlagte aktsomhetsområder).
 - Klipper vekk den delen av utsatt område som ligger utenfor bufferen.
 - Fjerner den delen av gjenværende utsatt område uten relevante løsmassetyper. De gjenværende inkluderte løsmassetypene (basert på NGUs løsmassekart og kategorisering i deres kartprodukt «mulighet for marin leire») i analysen er:
 - Hav- og fjordavsetning, uspesifisert
 - Hav- og fjordavsetning, sammenhengende dekke, ofte med stor mektighet
 - Marin strandavsetning, sammenhengende dekke
 - Breelvavsetning (Glasifluvial avsetning)
 - Elve- og bekkeavsetning (Fluvial avsetning)
 - Elveavsetning, sammenhengende dekke
 - Flomavsetning (uspesifisert)
 - Flomavsetning, sammenhengende dekke
 - Fyllmasse (antropogent materiale)
 - Torv og mose

Selv om kvikkleire kun dannes i marine leirer, som utgjøres av de to øverste kategoriene ovenfor, kan alle de andre nevnte løsmassetypene dekke over lag av marin leire, såfremt de ligger under marin grense. Alle de kartlagte faresonene for kvikkleire er inkludert i disse aktsomhetsområdene.



Figur A4.1 GIS-basert metodikk for å definere aktsomhetsområder for kvikkleireskred. A. Områder med helning mellom 1:1,5 og 1:5 er definert. B. Skråningenes 'nedbørfelt' er definert og skråningshøyden funnet (tall på skråningene). Skråninger med uaktuell løsmassetype og areal < 7,5 mål er fjernet. C. Buffer på 15 x skråningshøyden er lagt på og arealer utenfor bufferen er fjernet. D. Endelig resultat.

A5 Flom

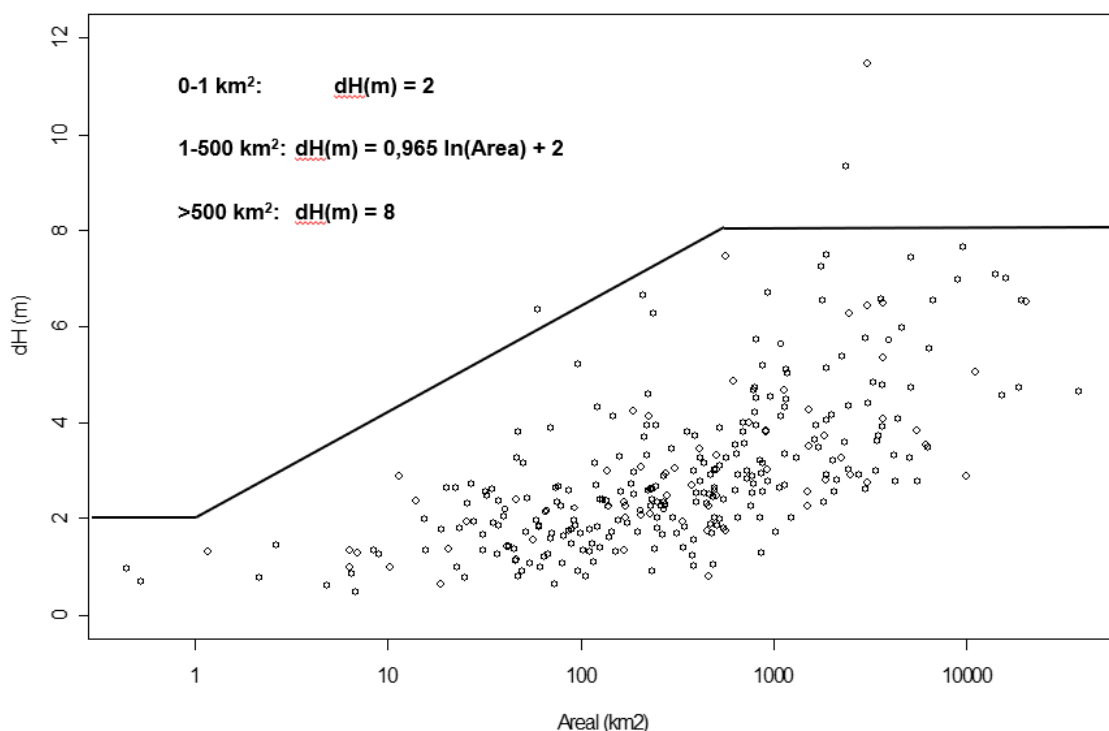
Det er ikke utviklet egen metodikk for å generere aktsomhetsområder for flom i FOSS 2040 prosjektet. Vi benytter NVEs landsdekkende aktsomhetskart for flom sammen med flomsonekart der disse finnes. Metodikken for å generere disse kartene beskrives kort nedenfor. For en mer utførlig beskrivelse henvises til NVE (2020k).

Aktsomhetskartene for flom er basert på terrengmodeller og flominformasjon fra over 300 hydrologiske stasjoner og areal til nedbørfeltene. Metoden er basert på antakelsen at vannivå kan beregnes uten å bruke detaljerte hydrologiske eller hydrauliske beregninger, og det tas utgangspunkt i at vannstanden er en funksjon av feltareal, effektiv sjøprosent og avrenning. For dette benyttes det tre ulike ligninger tilpasset størrelsen på nedbørfeltet til elva, der vannstanden (dH) beregnes som en funksjon av areal, og som funksjon av areal, avrenning og sjøprosent:

- 1) a) 0-1 km²: $dH(m) = 2$
b) $dH(m) = 2,83 + 0,00027 \cdot \text{Areal} + 0,0009 \cdot \text{Avrenning} - 0,15 \cdot \text{Sjø\%}$
- 2) a) 1-500 km²: $dH(m) = 0,965 \cdot \ln(\text{Areal}) + 2$
b) $dH(m) = 2,83 + 0,00027 \cdot \text{Areal} + 0,0009 \cdot \text{Avrenning} - 0,15 \cdot \text{Sjø\%}$

- 3) a) $>500 \text{ km}^2$: $dH(m) = 8$
b) $dH(m) = 6,83 + 0,00027 \cdot \text{Areal} + 0,0009 \cdot \text{Avrenning} - 0,15 \cdot \text{Sj\%}$

NVE benytter av praktiske årsaker ligningen med feltareal som eneste parameter ved utarbeiding av aktsomhetskart (ligningene 1a, 2a, 3a), som betyr at for felt mindre enn 1 km^2 settes vannstandsendringen (dH) til 2 meter. For felt større enn 500 km^2 settes dH til 8 meter. For felt mellom disse størrelsene beregner NVE dH ved ligning 2a (Figur A4.2). Ligningene 1b, 2b og 2c benyttes til mer nøyaktige estimater av vannstandsendringen dH .



Figur A5.1 Diagrammet viser maksimal vannstandsstigning som funksjon av størrelsen på nedbørsfeltet for et utvalg av vassdrag i Norge. Heltrukken strek viser nivået benyttet for å estimere maksimal vannstandsstigning for NVEs aktsomhetskart for flom. Verdiene benyttet i aktsomhetskartet er konservativt valg for å i minst mulig grad underestimere vannstandsstigning.

Ligningene er utredet fra målestasjoner ved å se på sammenhengen mellom vannstandsendring og feltareal. For dette er det benyttet en lineær regresjonsanalyse der resultatene viser en moderat sammenheng med forklart varians (R^2) verdier fra 0.3 til 0.5. Avvikene i vannstandsendring i aktsomhetskartene sammenlignet med flomsonekart og NVE sine målestasjoner er mellom 2 og 4 meter. Det er utviklet en egen metode som bruker de beregnede vannnivåene til å interpolere en flomslette. Ved å kombinere flomsletten med den digitale terrengmodellen (DTM) er det mulig å finne de potensielt flomutsatte områdene. Uavhengig av vannstandsstigningen er det langs elver i aktsomhetskartet inkludert et område på minimum 20 m fra kant av elv (NVE, 2020b).

Flomsonekart er basert på statistisk analyse av historiske flommer, elvas topografi og hydraulisk modellering som beregner vannstander ved ulike flomstørrelser. Deretter finnes vanndekket areal ut fra beregnet vannstand ved bruk av en digital terrengmodell i GIS. Hydraulisk modellering i for eksempel HEC-RAS av enkelte områder vil dermed være en mulighet for modifisering av aktsomhetskartene, men dette er ikke utført i dette prosjektet.

A6 Erosjon

Prosjektet har utviklet en egen metodikk for å estimere erosjonsfare langs både større og mindre vassdrag. Datagrunnlaget for analysen består av:

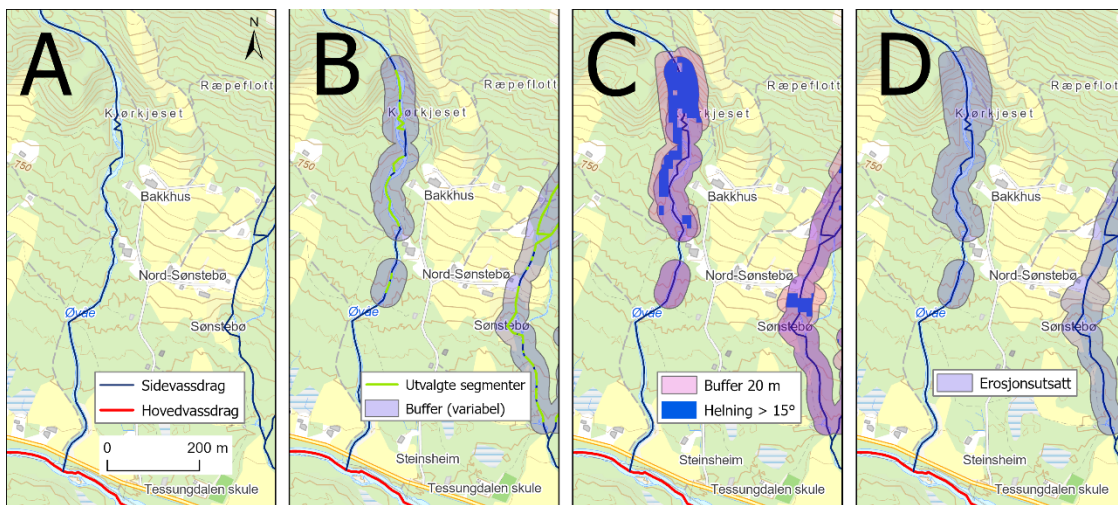
- NVEs aktsomhetskart flom (linjer)
- DMRN (Distributed Melton Ruggedness Number) datasettet fra NVE
- Helningskart (10 m)
- FKB Vann (polygon) datasettet for å skille ut innsjøer
- Løsmassekart fra NGU

Metodikken består videre i å kombinere vannstandsstigning, helningen på elvebreddene og DMRN nivået langs elva. DMRN er en topografisk indikator som angir helning, og dermed energinivå i elva i segmenter med forskjellige topografiske karaktertrekk (NVE, 2020d; Ortega & Schneevoigt, 2012). Den uttrykkes ved dimensjonsløst tall som sier noe om energinivået og dermed erosjonspotensialet i elva.

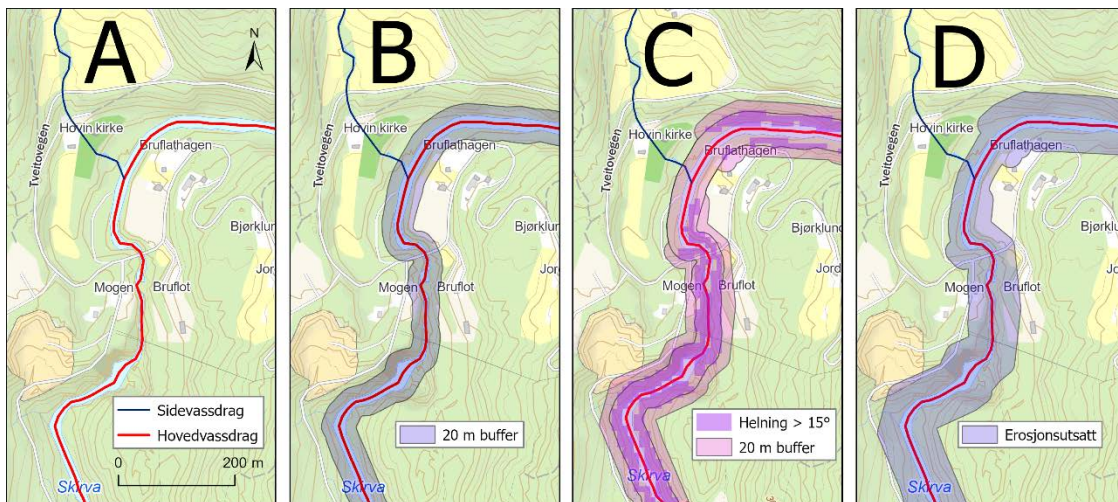
Litt forskjellig metodikk benyttes for hovedvassdrag og sidevassdrag, slik de er definert i NVEs database. Alle elver og bekker er definert med en flomlinje, sentralt bekken/elva. Mindre bekker er kun representert med denne linja, mens større elver er representert med polygoner som angir elvebredden.

For sidevassdrag benyttes flomlinjer med maksimal estimert vannstandsstigning mindre eller lik 5 m ved flom. Kun områder med et DMRN nivå større eller lik 0,13, og helning større enn 5° inkluderes, samt at arealer under 1000 m³ og områder med bart fjell ikke tas med. Aktsomhetsområdet defineres som en sone med bredde 20m + 3 x maks vannstandsstigning rundt flomlinja. Dersom området innenfor buffersonen er brattere enn 15°, legges ytterligere en 20 m buffersone til (Figur A6.1).

For hovedvassdrag benyttes i hovedsak samme metode, men her velges flomlinjer med maks vannstandsstigning større enn 5 m, og dette brukes til å velge polygonene som definerer elvebreddene fra FKB datasettet. En buffersone på 20 m legges deretter rundt polygonene, og bratt terreng behandles som beskrevet ovenfor (Figur A6.2).



Figur A6.1 Illustrasjon av metodikk utviklet for å beregne aktsomhetsområder for erosjon i sidevassdrag. **A:** Alle vassdrag med en maksimal vannstandstigning under eller lik 5m defineres som sidevassdrag. **B:** Sidevassdrag hvor DMNR > 0.13 og helningen er over 5° velges ut som utsatte. Disse bufres med en avstand på 20m + 3 x maksimal vannstandstigning. **C:** Områder innenfor bufferen med helning over 15° brukes som basis for ytterligere bufring på 20m. **D:** Bufrene slås sammen og områder med bart fjell fjernes. Resultatet definerer erosjonsutsatt område.



Figur A6.2 Illustrasjon av metodikk utviklet for å beregne aktsomhetsområder for erosjon i hovedvassdrag. **A:** Alle vassdrag med en maksimal vannstandstigning over 5m defineres som hovedvassdrag. **B:** Det opprettes en 20m buffer fra elvas vannkant. **C:** Områder innenfor bufferen med helning over 15° brukes som basis for ytterligere bufring på 20m. **D:** Bufrene slås sammen og områder med bart fjell fjernes. Resultatet definerer erosjonsutsatt område.

Vedlegg B

Samfunnsøkonomiske vurderinger ved sikring mot flom og skred

Innhold

B1	SAMFUNNSØKONOMISKE VURDERINGER	2
B1.1	SAMFUNNSØKONOMISKE VIRKNINGER AV SIKRING MOT FLOM OG SKRED	2
B1.1.1	<i>Generelt om virkninger av sikringstiltak</i>	2
B1.1.2	<i>Samfunnsøkonomiske analyser av sikringstiltak</i>	6
B1.2	NVES MODELL FOR NYTTE/KOST-ANALYSER FOR SIKRINGSTILTAK	6
B1.2.1	<i>Overordnet beskrivelse av modellen</i>	6
B1.2.2	<i>Nytte/kost-analyser for sikringstiltak – eksempler</i>	8
B1.2.3	<i>Vurderinger av modellen og eksemplene</i>	9
B1.3	KOSTNADER VED IKKE Å SIKRE	10
B1.3.1	<i>Erstatning for flom- og skredhendelser</i>	10
B1.3.2	<i>Direkte kostnader dersom man ikke sikrer bygg</i>	11
B1.3.3	<i>Samfunnskostnad dersom man ikke sikrer bygg</i>	12
B1.4	DISKUSJON	12

B1 Samfunnsøkonomiske vurderinger

Ett av hovedprinsippene innen samfunnsøkonomi er at nyttevirkningene verdsettes til det man antar at befolkningen samlet er villig til å betale for å oppnå dem, eller det man antar at befolkningen samlet er villig til å betale for å unngå en ulempe. Kostnadsvirkningene skal være lik den verdien disse ressursene har i beste alternative anvendelse, også kalt alternativkostnaden.

I dette vedlegget presenteres først en generell diskusjon om samfunnsøkonomiske virkninger av sikring mot flom og skred. Deretter diskuteres samfunnsøkonomiske analyser, herunder nytte/kost-analyser, som prioriteringsverktøy, før en vurdering av alternativkostnaden ved manglende sikring diskuteres opp mot kostnadene for å sikre eksisterende bebyggelse som beregnet tidligere i rapporten.

B1.1 Samfunnsøkonomiske virkninger av sikring mot flom og skred

B1.1.1 *Generelt om virkninger av sikringstiltak*

Skred- og flomhendelser vil ha en rekke samfunnsøkonomiske kostnader. Før en skred- eller flomhendelse inntreffer kan usikkerheten i forhold til om en slik hendelse kan komme til å inntreffe, påvirke menneskers trygghetsfølelse. I etterkant av større hendelser kan det også bre seg frykt for slike hendelser, også langt unna hendelsens umiddelbare nærhet. Spesielt i tilfeller der man vet eller har grunn til å tro at det er en relativt stor sannsynlighet for at en slik hendelse vil inntreffe på et eller annet tidspunkt, for eksempel når det er gjort en fareutredning for et område. En skred- eller flomhendelse vil idet den skjer kunne føre til direkte kostnader som følge av skade på bygg og innbo, og i verste fall føre til tap av liv og helse for mennesker som rammes av naturhendelsen. I etterkant av flom- eller skredhendelsen kan det påløpe såkalte indirekte kostnader. Dette kan eksempelvis være at skredet river ned ledningsnett slik at husstander mangler strøm eller kommunikasjon som igjen fører til at man får redusert arbeidsevne fra hjemmekontor, eller at flommen fører til at veier blir stengt som igjen fører til store forsinkelseskostnader. I en analyse i regi av NIFS-prosjektet (<https://www.nve.no/om-nve/forskning-og-utvikling-fou/fullforte-fou-prosjekter/nifs-programmet-naturfare-infrastruktur-flom-skred/>) ble det beregnet samfunnsøkonomiske kostnader av flommen i Gudbrandsdalen i 2013. Denne analysen viste at de samfunnsøkonomiske kostnadene knyttet til stengte veier og jernbane var større enn kostnadene for direkte skader meldt inn til forsikringsselskapene i etterkant av hendelsen (Siedler 2015).

Sikringstiltak mot flom eller skred vil redusere sannsynligheten for, og omfanget av, at mennesker, bygg og infrastruktur m.m. blir rammet av naturskade. Sikringstiltaket kan føre til at man ikke blir påvirket av en hendelse som man tidligere ville blitt utsatt for. Imidlertid vil de færreste sikringstiltak sikre 100 %, så en annen mulighet er at sikringstiltaket ikke beskytter en fullt ut, men at det reduserer hyppigheten eller omfanget av hendelsen. Hvilken restrisiko man skal sitte igjen med, avhenger av samfunnets villighet til å akseptere en viss risiko, - samfunnets risikoaksept. Dette er bygget inn i kriteriene for sikring. En skredsikring til TEK17-nivå med årlig skredsannsynlighet 1/1000 gir f.eks. ikke sikkerhet for alle skredstørrelser. Videre er det viktig å være bevisst på hva man utvikler etter at et sikringstiltak er på plass. F.eks. vil etablering av mer

infrastruktur, ny bebyggelse, etc. øke risikoen ved å gjøre skadepotensialet større for en hendelse med intensitet over det nivået som tiltaket var dimensjonert for.

Sikringstiltak vil øke tryggheten og redusere direkte og indirekte kostnader. Sikringstiltak mot skred og flom vil på generell basis ha følgende nytte- og kostnadsvirkninger:

- Økt trygghet for befolkningen
- Reduserte direkte kostnader, herunder:
 - Redusert tap knyttet til liv og helse
 - Reduserte skadekostnader på bygg og infrastruktur
- Reduserte indirekte kostnader, herunder:
 - Redusert negativ påvirkning på næringsvirksomhet i det berørte området og virkninger hos sekundærvirksomhet
 - Reduserte forsinkelser på person- og godstransport
 - Reduksjon i midlertidig nedsatt arbeidsevne
 - Redusert fremtidig bruksverdi for berørt område
- Påvirkning på omgivelsene, herunder virkninger for landskapsbilde, friluftsliv/by- og bygdeliv, naturmangfold, kulturarv og naturressurser
- Investeringskostnader for sikringstiltaket
- Drift- og vedlikeholdskostnader for sikringstiltaket

Når det gjelder reduserte direkte og indirekte kostnader vil disse måtte representeres ved forventningsverdier fra en samfunnsøkonomisk analyse av sikringstiltak. Før tiltaket er det en gitt sannsynlighet for at man rammes av naturhendelsen, mens etter tiltaket vil denne sannsynligheten være redusert basert på dimensjoneringen av tiltaket. Sikringstiltakene vil imidlertid ikke fjerne all risiko knyttet til en slik hendelse, og det vil være en restrisiko. Nedenfor omtales de samfunnsøkonomiske virkningene nærmere.

Trygghet

Trygghet er en følelse av tilstrekkelig sikkerhet for liv, helse og eiendeler. Imidlertid er det utryggheten, altså følelsen av manglende eller utilstrekkelig sikkerhet, som påvirker menneskers adferd. Således vil økt grad av trygghetsfølelse gi samfunnsøkonomisk virkning når sikkerheten bedres.

Trygghet er en samfunnsøkonomisk virkning som det er utfordrende å tallfeste og verdsette, men det er like fullt en samfunnsøkonomisk virkning som må tas hensyn til når man vurderer sikringstiltak mot flom og skred. Det er gjort en del arbeid på verdsetting av trygghet i veisektoren i Norge. Flügel et al (2010) omtaler utrygghet i forbindelse med den nasjonale verdsettingsstudien for transportsektoren. Her kommer man fram til en verdi per bilreisende på 0,50 2009-kroner per km vei som sikres. Dette tallet er ikke direkte overførbart til verdsetting av utrygghet på et generelt nivå, men er ment å vise at utrygghet er empirisk verdsatt. I en masteroppgave fra 2011 (Grann, 2011) ble det gjennomført en verdsettingsstudie av utrygghet knyttet til flom i Drammenselva. I denne analysen kom man frem til en utrygghetskostnad på 92 kroner (2011-kroner) per husholdning per år. Datagrunnlaget i denne studien er for lite til å generalisere basert på denne verdien.

For å kunne kvantifisere verdien av trygghet mot flom og skred bør det gjennomføres en egen verdsettingsstudie med et datagrunnlag som gjør det mulig å generalisere for hele landet.

Reduserte tap knyttet til liv og helse

Reduserte tap av liv og helse vil komme som en følge av at sikringstiltak vil redusere sannsynligheten for at boliger blir utsatt for flom og skred. Liv og helse kan trues av disse naturfarene dersom personer oppholder seg i boligene når hendelsen inntreffer.

I samfunnsøkonomiske analyser benyttes begrepet verdi av statistisk liv når det er snakk om tiltak som reduserer sannsynlighet for at mennesker omkommer. I Finansdepartementets rundskriv R-109/14 er verdien av et statistisk liv (VSL) satt til 30 millioner 2012-kroner. Dette tallet skal realpris-justeres i henhold til utviklingen i brutto nasjonalprodukt (BNP) per innbygger.

Basert på tall fra Helsedirektoratet (Dødsårsaksregisteret) har antallet omkomne som følge av naturulykke ligget på omtrent 25 personer i året. I den nasjonale skredhendelsesdatabasen (NVE 2021) er det fra 2000-2020 registrert 29 omkomne av skred i *bygning* (inkl. Svalbard). Av disse er 10 knyttet til kvikkleireskredet på Ask i Gjerdrum kommune 30.12.2020. Antall registrerte omkomne av skred *på vei* i samme periode er 17. NGIs data for omkomne i snøskred viser at de siste årene har 5 prosent av de omkomne blitt drept av snøskred i bygninger.

Selv om liv ikke går tapt i en naturulykke kan hendelsen føre til at mennesker blir skadet. Disse skadene vil, i tillegg til dårligere helse for de som blir rammet, gi et velferdstap. Velferdstapet omfattes av de realøkonomiske effektene av skadene, herunder produksjonsbortfall, medisinske kostnader, materielle kostnader og administrative kostnader.

Transportsektoren er en av sektorene som har kommet lengst i verdsettingen av ulykker som fører til skader på personer. I denne metodikken (Statens Vegvesen, 2017) skiller man på skadegrad og setter en kostnad på denne. En meget alvorlig skade har eksempelvis en samfunnsøkonomisk kostnad på 27,1 millioner 2016-kroner, mens en alvorlig skade er verdsatt til 9,3 millioner 2016-kroner.

På samme måte som for dødsulykker knyttet til naturfare, er det heldigvis få personskader som følge av flom og skred i Norge. Data for antall skadde og skadegrad på de som skades som følge av flom- og skred, finnes det imidlertid ingen gode datakilder for.

Reduserte skadekostnader på bygg og innbo

Skadekostnader på bygg og innbo er en sentral virkning av en flom- eller skredhendelse. Dette er også de kostnadene som man har best oversikt over gjennom dataene fra Norsk naturskadepool. Kostnadene registrert der, omfatter omfanget på summen av enkeltsaker som er rapportert inn til forsikringsselskapene. Totalt var kostnadene på omtrent 180 millioner i 2019, mens de gjennomsnittlige skadekostnadene per bygg var på 86.000 kroner for flom og 109.000 kroner for skredhendelser. Disse gjennomsnittskostnadene er ikke medregnet den fastsatte egenandelen på 8000 kroner.

Sikringstiltak mot flom og skred vil redusere sannsynligheten for at skader inntreffer på bygg og innbo, og vil redusere skadekostnadene.

Reduserte indirekte kostnader

Indirekte kostnader omfatter kostnader som påløper etter at flom- eller skredhendelsen har skjedd. Indirekte kostnader kan omfatte mange virkninger, men vi har her valgt å fokusere på virkninger for virksomheter, person- og godstransport, midlertidig reduksjon i arbeidsevne og redusert fremtidig bruksverdi for berørt område.

Flom- og skredhendelser kan føre til at næringsvirksomhet må holde stengt, noe som isolert sett vil føre til en uønsket virkning for de aktuelle bedriftene. Siden virksomheter ofte leverer varer og tjenester til hverandre, kan en slik stans også føre til negative virkninger hos underleverandører eller mottakere/kunder.

Flom og skred rammer ofte også annen type infrastruktur enn bare bygninger. Eksempelvis kan skred rive ned kraftledninger og flom ødelegge VA-infrastruktur. Felles for disse ødeleggelsene er at det vil kunne påvirke arbeidsevnen til befolkningen som rammes. Uten elektrisitet vil arbeidsevnen for mange reduseres, da man er avhengig av dette og internett for å kunne arbeide.

Dersom naturulykken påvirker transportinfrastruktur, vil dette rett etter hendelsen ofte føre til forsinkelser. Forsinkelser på person- og godstransport har egne tidsverdier utarbeidet av blant annet Statens vegvesen. Dersom restitusjon av infrastrukturen tar tid, vil person- og godstransporten være avhengige av å bruke alternative transportveier. Disse kan være lengre og føre til økte samfunnskostnader (Siedler 2015).

Større naturhendelser kan føre til at de berørte områdene får redusert fremtidig bruksverdi. I området hvor Gjerdrum-ulykken skjedde var deler av området i bruk til boliger og bebyggelse. I etterkant av kvikkleireskredet vil deler av dette området ikke kunne brukes til dette formålet lengre, og bruksverdien av området for kommunen og for de enkelte tomteeierne reduseres eller forsvinner.

Generelt er indirekte kostnader vanskelig å verdsette i kroner. Alle virkningene beskrevet ovenfor er imidlertid samfunnsøkonomiske virkninger. På generelt grunnlag vil sikringstiltak mot flom og skred kunne redusere indirekte kostnader.

Påvirkning på omgivelsene, herunder virkninger for landskapsbilde, friluftsliv/by- og bygdeliv, naturmangfold, kulturarv og naturressurser

Bygging av sikringstiltak vil kunne ha påvirkning på omgivelsene i området hvor tiltaket gjennomføres. I Norge er det lang tradisjon for å utrede slike konsekvenser, og metodikken for slike analyser er god. Statens vegvesen Håndbok V712 er et godt utgangspunkt for å vurdere slike virkninger også innenfor sikringstiltak mot flom og skred. Eksempelvis kan tiltak som fanggjerdar eller voller føre til at landskapsbildet og muligheter for friluftsliv forringes. Videre kan tiltak som endrer vannstand, strømningsforhold eller bunnforhold i vassdrag, påvirke det biologiske mangfoldet i elva.

Påvirkning på omgivelsene er ofte virkninger som beskrives og verdsettes kvalitativt i samfunnsøkonomiske analyser.

Investeringskostnader og drift- og vedlikehold

Frem til nå er det kun reduserte samfunnskostnader som følge av sikringstiltak mot flom og skred som er omtalt. Dersom slike tiltak skal bygges, vil det påløpe investeringskostnader som må tas med i et samfunnsøkonomisk regnestykke. Vi har tidligere i rapporten presentert ulike enhetspriser for ulike typer tiltak. Disse gir en indikasjon på hva en kan forvente av investeringskostnader med en betydelig usikkerhet.

I tillegg til investeringskostnadene vil sikringstiltakene måtte driftes og vedlikeholdes dersom de skal levere det sikringsnivået de er dimensjonert for, og ikke ha fallende funksjonalitet. Drift- og vedlikeholdskostnader må derfor også tas med, og sees opp mot forventet levetid på sikringstiltakene.

B1.1.2 *Samfunnsøkonomiske analyser av sikringstiltak*

En veldefinert samfunnsøkonomisk analyse av sikringstiltak mot flom og skred bør omfatte alle virkningene nevnt ovenfor. Imidlertid er det ofte en utfordring at man mangler data og at det er tidkrevende å sette opp fullstendige samfunnsøkonomiske analyser for sikringstiltak. Det er spesielt utfordrende å vurdere indirekte kostnader og kostnader knyttet til trygghet i befolkningen.

For å ha et verktøy for å gjennomføre samfunnsøkonomiske vurderinger, har NVE utarbeidet en modell for beregning av nytte og kostnader knyttet til sikringstiltak. Denne modellen er beskrevet nærmere nedenfor.

B1.2 NVEs modell for nytte/kost-analyser for sikringstiltak

NVE har utviklet et eget verktøy i Excel for beregning av samfunnsøkonomiske nytte- og kostnadsvirkninger. Verktøyet gir NVEs vurdering av hvordan de samfunnsøkonomiske virkningene skal behandles og beregnes. Nedenfor drøftes mange av de samme effektene, men i dette prosjektets perspektiv. Verktøyet gjør det også mulig å legge inn klimapåslag for flom og vurdere dette i et nytte/kost-perspektiv.

B1.2.1 *Overordnet beskrivelse av modellen*

Skred- og vassdragsavdelingen i NVE fikk høsten 2015 utviklet modellen. Modellen er beregnet for internt bruk i NVE til prioritering av fysiske sikringstiltak mot ulike typer flom og skred og til kontroll av samfunnsøkonomisk nytte og kostnader ved tiltak som utredes. Verktøyet dekker følgende hendelsestyper: flom, flomskred, steinsprang, stein- og jordskred, leirskred, snøskred, sørpeskred og erosjon. Verktøyet er primært bygd for å beregne prissatte konsekvenser, men i senere revisjoner (versjon 1.10) støtter det også poenggivning av ikke-prissatte konsekvenser. Det er imidlertid ikke noen sammenstilling av prissatte- og ikke prissatte konsekvenser i modellen.

Modellen er satt sammen av en rekke underliggende ark. Nedenfor er disse arkene beskrevet kortfattet:

Ark i modellen	Kort beskrivelse av funksjonalitet
Info	I dette arket legges det inn bakgrunnsinformasjon om tiltakene som eksempelvis navn, type tiltak, plassering, beregningshorisont og antall husstander sikret.
Standardverdier	I dette arket ligger forutsetninger for modellen. Blant annet er det beskrevet antagelser om areal for ulike bygningstyper, samt beregnede person- og boligekvivalenter som brukes for å anslå sannsynligheter for at personer er i hus som rammes av naturulykker. Disse verdiene kan justeres til å beskrive det enkelte scenariet best mulig.
Nytte	Dette arket oppsummerer nyttevirkningene (og nyttekostnadsbrøk) for tiltaket basert på skadeprofilene i nullalternativet (Skadeprofil 1) og tiltaksalternativet (Skadeprofil 2). Trygghet for berørte husstander ligger også inne i dette arket.
Kostnad	I dette arket legges investerings- og driftskostnader inn og det beregnes nåverdier av disse kontantstrømmene.
Ikke prissatt	I dette arket kan det legges inn vurderinger av ikke prissatte virkninger som: Landskapsbilde, friluftsliv, kulturmiljø, næringsliv og lokalsamfunn og naturmangfold, samt egendefinerte ikke prissatte virkninger.
Skadeprofil 1	I arket for skadeprofil legges det inn gjentakintervall for den hendelsen man ser på, for eksempel årlig sannsynlighet 1/100 for skredhendelser. I tillegg til dette legges det inn antall bygninger eller mengder av infrastruktur som er antatt berørt av et slikt scenario og en treffsannsynlighet. Basert på dette beregnes skadekostnader som brukes i nytteberegningene.
Skadeprofil 2	Arket skadeprofil 2 er tilsvarende Skadeprofil 1, men det kan legges inn andre data eksempelvis for antall bygninger og gjentakssannsynligheter for et annet scenario enn i Skadeprofil 1.
Restrisiko	Arket Restrisiko beregner den årlige restskaden basert på materielle skader og skade liv, samt gjentakintervall.

Det henvises til dokumentet Bruerveiledning, Nytte/kost-verktøy NKA-2016 v 1.32b for en mer detaljert beskrivelse av modellen.

B1.2.2 *Nytte/kost-analyser for sikringstiltak – eksempler*

Nedenfor følger to eksempler på slike analyser, for snøskred- og flomsikring fra henholdsvis Hammerfest og Lillestrøm. Eksempelene viser hvordan nytte/kost-regnskapet kommer ut positivt, men med noe forskjellig faktor. I Hammerfest sikres relativt få boliger, men én av bygningene er en idrettshall med relativt høy verdi og som brukes av mange mennesker.

Snøskredsikring av boliger og idrettshall med støtteforbygninger, Hammerfest kommune

For å hindre utløsning av snøskred mot idrettshall i Finnmarksveien 90, og utsatt boligbebyggelse i nærheten, er det etablert støtteforbygninger i utløsningsområdene fra Storfjellet. Støtteforbygningene er etablert i utløsningsområdene, og høyden på radene varierer mellom 3-4 meter i nedre del og 4-5 meter i øvre del. Det er etablert totalt 10 rader med forbygninger, og total lengde er 777 meter. Før tiltaket er skredfaren vurdert med en årlig sannsynlighet på 1/50, mens etableringen av støtteforbygninger i begge utløsningsområdene for snøskred er beregnet å ha redusert sannsynligheten til minst maksimum 3/1000, men trolig helt ned til 1/1000 siden utløsningsområdene er sikret.

Støtteforbygningene sikrer idrettshall og solarium, samt 6 boliger. Totalt berører sikringen 35-50 personer. Før implementeringen ble tiltaket analysert med NVEs "Nytte/kost-verktøy for prioritering av tiltak mot naturfare". Nytte/kost-regnskapet i analysen er oppsummert tabell B1.1.

I analysen er sikkerhetsnivå tilsvarende kravet i TEK17, altså sikring til en årlig sannsynlighet mindre enn 1/1000, lagt til grunn, med en beregningshorisont på 80 år. Nytteverdiene av tiltaket består av reduserte konsekvenser for liv og helse, bygninger, veier og annen infrastruktur.

Tabell B.1.1 Nytte/kost-analyse for støtteforbygninger mot snøskred i Hammerfest. Alle verdier i mill. NOK

Nåverdi nytte, herav:	54,49
Redusert skade	7,11
Redusert skade på liv	45,88
Trygghet	1,51
Kostnader	21,12
Netto nåverdi for tiltaket	33,37
Nytte/kost-forhold for tiltaket	2,58

Tiltaket er ikke vurdert å ha andre konkrete ikke-prissatte konsekvenser av betydning, men sikring av området vil øke tryggheten for beboere i området generelt, også med tanke på bruk av gymanlegg i perioder med økt skredfare. Kapitalisert trygghet for beboere og brukere av idrettsanlegget og solariet utgjør 1,5 mill. kroner av den beregnede nytteverdien. Det bør ellers bemerkes at kostnader til drift og vedlikehold ikke er medregnet i kostnaden for dette tiltaket, men selv med dette inkludert i kostnadene, vil tiltaket komme positivt ut.

Flomsikring av boligfelt ved Leirsund, Lillestrøm kommune

Et boligfelt med 18 boliger og 11 garasjer / uthus med tilhørende infrastruktur beskyttes av en flomvoll. Denne ble opprustet på begynnelsen av 2000-tallet, og var beregnet å ha en sikkerhet mot flom med 100-års gjentaksintervall. Lekkasjer i flomvollen og setninger i grunnen, kombinert med revisjon av relevante vannføringskurver, har ført til at sikkerhetsnivået var redusert til flom med 20-års gjentaksintervall for de mest utsatte eiendommene. Det omsøkte tiltaket besto i å oppruste flomvollen til å gi sikkerhet mot flom med 200-års gjentaksintervall, kotehøyde 0,75 m over opprinnelig prosjektert høyde, inkludert en klimafaktor på 20 % og en sikkerhetsfaktor på 0,5 m.

Selv om den oppgraderte sikringen skal dimensjoneres for 200-års flom, vil beboerne måtte evakueres i god tid før flommen når dette nivået. Dette skyldes at feltet vil ha vann på alle kanter, og et eventuelt grunnbrudd eller overtopping ved en stor flom vil føre til totalskade på bygningsmassen.

Tabell B1.2 Nytte/kost-analyse for flomsikring av boligfelt ved Leirsund, Lillestrøm kommune. Alle verdier i mill. NOK

Nåverdi nytte, herav:	29,25
Redusert skade	28,35
Redusert skade på liv	0,00
Trygghet	0,90
Kostnader	8,93
Netto nåverdi for tiltaket	20,32
Nytte/kost-forhold for tiltaket	3,28

Også dette tiltaket har en beregningshorisont på 80 år. Nytteverdien gjelder i all hovedsak sparte materielle skader. Det er også en kapitalisert trygghet beregnet til 0,90 mill. kr. Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader er satt til 0,1 mill. kr. Nytte/kost-forholdet er beregnet til 3,28 (tabell B1.2) og kommer dermed noe høyere ut enn i eksemplet fra Hammerfest (tabell B1.1).

B1.2.3 Vurderinger av modellen og eksemplene

NVEs modell for beregning av nytte og kostnader for sikringstiltak mot flom og skred er et verktøy som er laget for å se på enkelttiltak og beregne nytte/kost-brøk for det enkelte tiltak. Modellen egner seg ikke til å gjennomføre overordnede analyser av nytte og kostnader for sikringstiltak på aggregert nivå. Modellen er et godt utgangspunkt for prioritering av identifiserte sikringstiltak som omtalt i kapittel 7.

Eksemplene på bruk av modellen viser at disse spesifikke tiltakene har en svært god samfunnsøkonomisk lønnsomhet med nytte/kost-brøker på henholdsvis 2,58 og 3,28. Resultatene i eksemplene er imidlertid kun resultatet av enkeltstående analyser, og man kan ikke generalisere og si at alle sikringstiltak mot flom og skred vil gi tilsvarende resultater. Disse prosjektene har før

de ble vurdert i nytte/kost-verktøyet, blitt vurdert av NVE som mulig aktuelle prosjekter å gjennomføre basert på andre parametre enn nytte/kostnad.

B1.3 Kostnader ved ikke å sikre

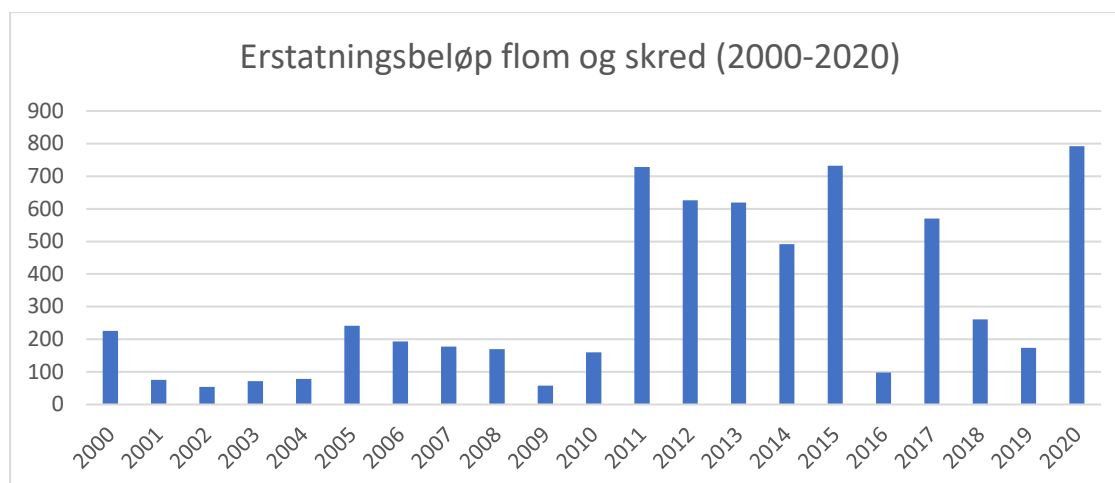
I analysen av kostnader er sikringsbehovet beregnet til i overkant av 85 milliarder 2019-kroner dersom eksisterende bygg som er utsatt for skred i bratt terreng, flom, erosjon og kvikkleire skal sikres (Kap. 6). Dette representerer en omfattende ressursbruk, og det er derfor viktig å vurdere denne ressursbruken i et samfunnsøkonomisk perspektiv. Dette kan gjøres gjennom å vurdere kostnaden for å gjennomføre alle sikringstiltakene opp mot kostnadene dersom man ikke sikrer noen bygg.

I en slik vurdering kan man se på to ytterpunkter. Et tilfelle hvor man ikke sikrer noe i fremtiden og heller betaler for skadene som oppstår som følge av naturfarer. Det andre ytterpunktet er at alle sikringstiltakene (inkl. riving og flytting som alternativ sikringsmetode) gjennomføres og byggene derfor er sikret til et gitt nivå.

Det må understrekes at den videre diskusjonen angir svært grove estimater og at usikkerheten er høy. Det er ikke gjennomført noen fullstendig analyse av den aktuelle problemstillingen.

B1.3.1 Erstatning for flom- og skredhendelser

Flom og skred fører årlig til store kostnader for enkeltpersoner, virksomheter og samfunnet som helhet. I kystnært og bratt terreng er det skred som inntreffer oftest, mens i lavereliggende områder og langs elveløp er man mer utsatt for flomskader. Basert på statistikk fra Finans Norge og Norsk naturskadepool betalte forsikringsselskapene totalt 792 millioner kroner i erstatning for flom- og skredhendelser som hadde påvirket forsikret eiendom i 2020 (statistikk hentet ned uke 17 2021, og skal inkludere skader til og med 31.3.2021). En stor del av dette kan tilskrives Gjerdrum-ulykken, selv om det trolig er noe etterslep på saker knyttet til denne hendelsen. Figur B1.1 viser en oversikt over erstatningsbeløpene i perioden 2000-2020 i faste 2019-kroner. I tillegg finnes flere andre ordninger som gir utbetalinger ved skade som følge av naturfare, som erstatning for avbruddstap i næringsvirksomhet, kjøretøyforsikring, etc., men disse er ikke tatt med her siden fokuset i denne rapporten er sikring av bygg.



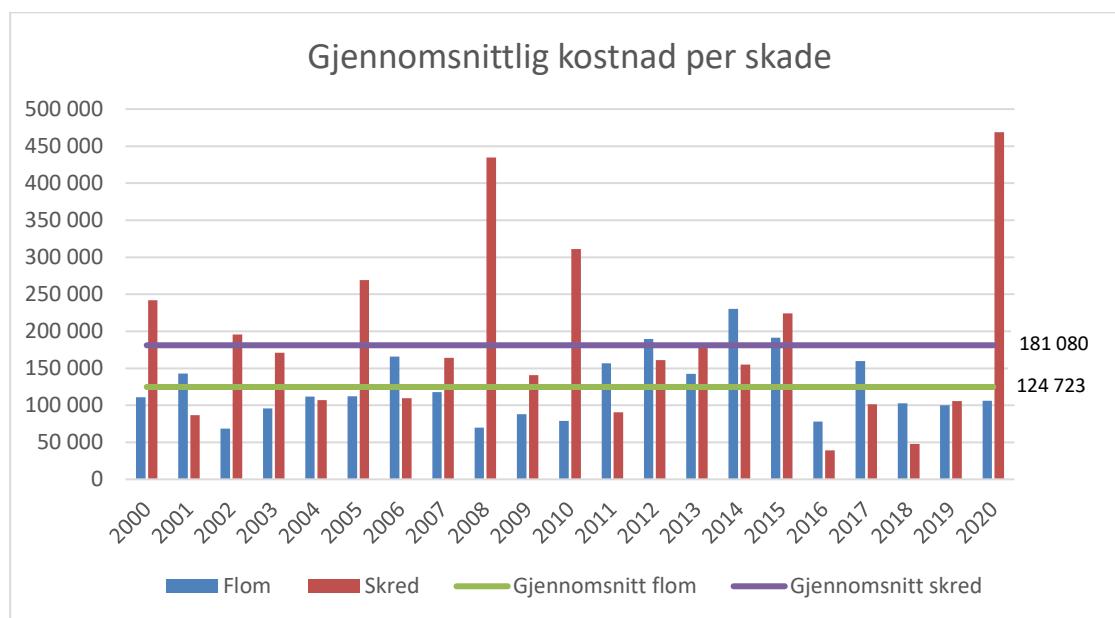
Figur B1.1 Erstatningsbeløp for flom og skred

I perioden mellom 2000 og 2010 var det relativt lave utbetalinger, mens det i det siste tiåret har vært en betydelig økning i erstatningsbeløpene. Gitt at menneskeskapte klimaendringer fører til flere og mer alvorlige naturhendelser, vil trolig trenden i erstatningsbeløpene fremover også være en økning, dersom samfunnet ikke klimatilpasses bedre.

Det må presiseres at offentlige virksomheter er selvassurandør, og skader på infrastruktur som vei, bane eller havneanlegg for å nevne noe, er ikke inkludert i tallene presentert ovenfor.

Når man ser de totale erstatningene opp mot antall registrerte skader får man et bilde på hvor mye hver enkelt skade koster. Gjennomsnittlig kostnad per skade i perioden 2000-2020 (målt i 2019-kroner) er vist i figur B1.2. Det høye beløpet i 2020 er påvirket av de omfattende skadene i kvikkleireskredet på Gjerdrum.

Sett under ett i perioden 2000-2020 var den gjennomsnittlige kostnaden for en flomskade på omtrent 125.000 kroner (2019-verdi). Tilsvarende kostnad for skader ifm. skredhendelser var på omtrent 181.000 kroner.



Figur B1.2 Gjennomsnittlig kostnad per hendelse

B1.3.2 Direkte kostnader dersom man ikke sikrer bygg

I denne situasjonen vil det ikke påløpe noen investeringskostnader eller driftskostnader, som følge av at man ikke gjennomfører noen sikringstiltak. Imidlertid vil det påløpe samfunnskostnader som følge av naturulykker.

For å komme med et estimat på de direkte kostnadene knyttet til flom- og skredhendelser bruker vi tallene fra Norsk naturskadepool nevnt ovenfor.

I gjennomsnitt har det vært 1551 registrerte skader per år knyttet til flom, mens det tilsvarende har vært 529 registrerte skader per år knyttet til skred den siste 20-årsperioden. Den gjennomsnittlige

erstatningen i disse sakene er på 132.380 kroner (inkl. egenandel, 2019-kr) for flom og 189.080 kroner for skred (inkl. egenandel, 2019-kr). Egenandelen er på 8 000 kroner.

Basert på det gjennomsnittlige antallet skader per år, har vi fremskrevet antall skader og kostnaden forbundet med disse i den neste 20-års perioden, dvs. frem mot 2040. Videre benytter vi de gjennomsnittlige skadekostnadene for å komme frem til estimater på skadekostnader i fremtiden.

Gitt forutsetningene om at antallet skader og skadekostnader er som gjennomsnittet de siste 20 år, vil den årlige direkte kostnaden ved ikke å sikre bebyggelse være i størrelsesorden 306 millioner kroner per år. I perioden mellom 2021 og 2040 er de totale direkte kostnadene ved å ikke sikre anslått til ca. 6 milliarder kroner.

B1.3.3 *Samfunnskostnad dersom man ikke sikrer bygg*

De grove beregningene ovenfor viser de direkte kostnadene knyttet til flom- og skredskader. I tillegg til disse kostnadene vil det være andre (direkte og indirekte) samfunnsøkonomiske virkninger som fører til at den totale samfunnskostnaden, dersom man ikke sikrer bygg, trolig er langt større. I kapittel 8.1.1 har vi vist til en rekke samfunnsøkonomiske virkninger som er aktuelle i en samlet analyse av samfunnskostnader, og som ikke er med her.

Det er utfordrende og utenfor dette prosjektets mandat å beregne totale samfunnskostnader av alle flom- og skredhendelser i perioden mellom 2020 og 2040. Fokuset har her vært på hva det koster å sikre eksisterende bebyggelse. Denne kostnaden er anslått å være på 85 milliarder kroner. Dersom man ser dette opp mot estimatet på 6,4 milliarder kroner i direkte kostnader kan man gjøre en implisitt vurdering av hva samfunnskostnaden må være for at man skal gå i null (break-even). Basert på en slik tilnærming må de andre (direkte og indirekte) samfunnskostnadene være på 78,6 milliarder kroner for at man skal gå i null ved å gjennomføre sikring av all eksisterende bebyggelse som bør sikres i henhold til faremodellen i kapittel 4.

B1.4 Diskusjon

Det er stor usikkerhet knyttet til om en storstilt sikring av eksisterende bebyggelse mot flom og skred vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Som beskrevet tidligere vil sikringskostnadene, som er estimert til 85 milliarder kroner, måtte motsvares av tilsvarende nivå på samfunnskostnader for at man skal gå i null samfunnsøkonomisk. Basert på den innsikten vi har på nåværende tidspunkt vurderes det at det trolig ikke er lønnsomt å sikre all bebyggelse. Denne problemstillingen bør utforskes videre av NVE i forbindelse med arbeidet med en eventuell overordnet strategisk plan for sikring.

NVEs verktøy for beregning av nytte og kostnader knyttet til sikringstiltak viser at enkelte tiltak har svært god lønnsomhet. Imidlertid er trolig utvalget av tiltak som NVE har benyttet verktøyet på, skjevt i den forstand at man har gjort analyser av sikringstiltak som man med stor sannsynlighet vet blir lønnsomme. I det videre arbeidet med sikring mot flom og skred bør NVE benytte verktøyet i større omfang slik at man får et bedre datagrunnlag for tiltakenes samfunnsøkonomiske lønnsomhet.

Gitt antagelsen om at sikring av all eksisterende bebyggelse ikke er samfunnsøkonomisk lønnsomt, bør NVE fortsatt benytte sitt nytte/kost-verktøy til å prioritere prosjekter slik at prosjekter med høy samfunnsøkonomisk lønnsomhet prioriteres først.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no