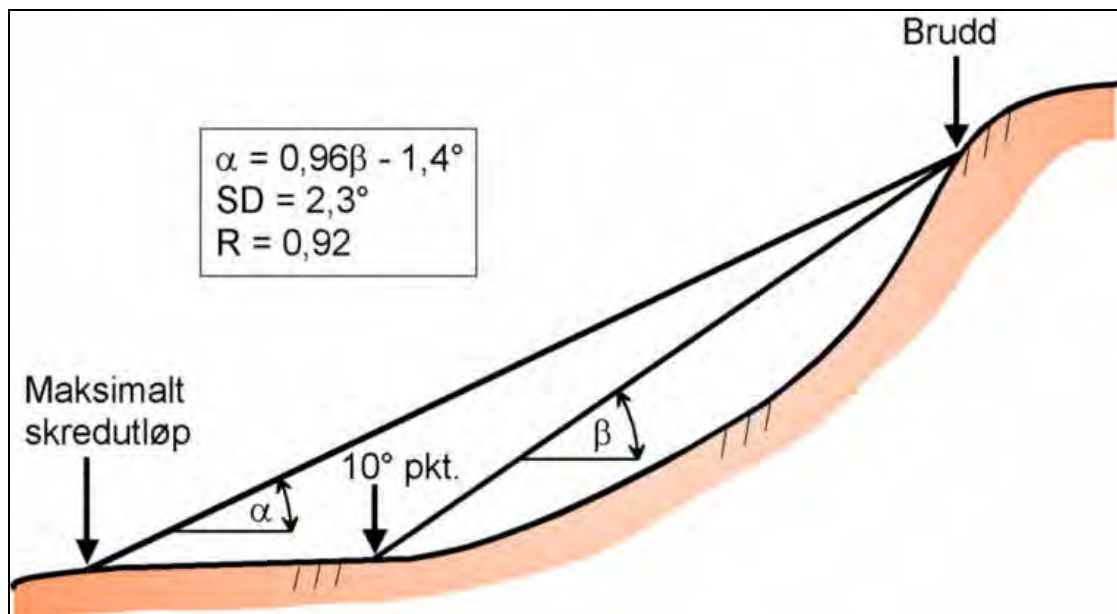




Veileder:

Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner

Vedlegg 2 til NVEs retningslinjer: Flom- og skredfare i arealplaner



Forord

Denne veilederen beskriver hvordan fare knyttet til skred i bratt terreng kan utredes og kartlegges i forbindelse med kommunenes arealplanlegging. Veilederen supplerer og må ses i sammenheng med NVEs retningslinjer ”Flom- og skredfare i arealplaner” for temaet skred.

Veilederen er først og fremst myntet på konsulenter som tar på seg oppdrag for kommunene for kartlegging og utredning av skredfare, men også kommuner som bestiller slike oppdrag vil ha nytte av den.

Veilederen er basert på et utkast utarbeidet av Norges Geotekniske Institutt v/ Kalle Kronholm (prosjektleder) Carl Bonnevie Harbitz, Frode Sandersen, Ulrik Domaas og Vidar Kveldsvik. Utkastet er bearbeidet av NVE med bl.a. tanke på at den skal være best mulig tilpasset NVEs retningslinjer.

Veilederen vil bli gjennomgått i løpet av 2011 med sikte på forbedringer. Vi er derfor takknemlige for alle kommentarer og innspill.

Oslo, april 2011

Steinar Schanche

Innhold

1	Innledning - avgrensning av innholdet i veilederen	7
2	Kategorier av skredfarekart	7
2.1	Hendelseskart	7
2.2	Aktsomhetskart	7
2.3	Faresonekart	8
2.4	Risikokart	8
3	Grunnlagsmateriale for vurdering av skredfare	9
4	Metode for utredning av skredfare	11
4.1	Fremgangsmåte	11
4.2	Nærmere om vurdering av skredsannsynlighet	12
4.3	Bruk av beregningsverktøy	12
5	Vurderinger på kommuneplannivå	13
5.1	Hensikt	13
5.2	Identifisering og avgrensning av aktsomhetsområder	13
5.3	Krav til og omfang av undersøkelser og leveranser.	14
6	Vurderinger på reguleringsplannivå	15
6.1	Hensikt	15
6.2	Identifisering og avgrensning av faresoner	15
6.3	Krav til og omfang av undersøkelser og leveranser	16
7	Vurderinger på byggesaksnivå	17
7.1	Hensikt	17
7.2	Når trengs en vurdering på byggesaksnivå?	17
7.3	Metoder og bakgrunnsmateriale	18
7.4	Krav til og omfang av undersøkelser og leveranser	18
8	Utredning av skredfare for de enkelte skredtyper	19
8.1	Generelt	19
8.2	Snøskred	20
8.3	Sørpeskred	24
8.4	Jordskred	26
8.5	Flomskred	29
8.6	Steinsprang og steinskred	31
8.7	Fjellskred	36
8.8	Skredgenererte flodbølger	39
9	Referanser	45

1 Innledning - avgrensning av innholdet i veilederen

Veilederen beskriver utredning/kartlegging av skredfare for ulike skredtyper i forbindelse med planlegging av ny bebyggelse. Det er lagt vekt på at veilederen skal være tilpasset behovet for kartlegging av skredfare på de ulike plannivåene etter plan- og bygningsloven, og sikkerhetskravene gitt i byggteknisk forskrift. Veilederen er et vedlegg til og utdyper NVEs retningslinjer *"Flom- og skredfare i arealplaner"* for temaet skredfare.

Målgruppen for veilederen er først og fremst konsulenter som tar på seg oppdrag for kommunene og private utbyggere for kartlegging og utredning av skredfare i forbindelse arealplaner. Også kommuner og andre som bestiller slike oppdrag vil ha nytte av veilederen.

Veilederen omhandler skred i bratt, naturlig terreng. Skred forårsaket av menneskelige inngrep er ikke tatt med, bortsett fra kommentarer knyttet til utløsning av jord- og flomskred i forbindelse med skogsveier.

Veilederen omhandler ikke kartlegging av fare for kvikkleireskred eller lignende skred i materialer med sprøbruddegenskaper. Dette er beskrevet i veilederen *"Vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper"* (vedlegg 1 til NVEs retningslinjer *"Flom- og skredfare i arealplaner"*).

Veilederen omtaler kartlegging som er relevant i forbindelse med planlegging av ny bebyggelse. Risikokart, der også konsekvensene for eksisterende bebyggelse er vurdert, er ikke omtalt. Risikokart nyttes særlig i beredskapsplanlegging og til prioritering av sikringstiltak for eksisterende bebyggelse.

2 Kategorier av skredfarekart

Her gis det bare en kort omtale av de vanlige kategorier av skredfarekart. De er nærmere omtalt i NVEs retningslinjer *"Flom- og skredfare i arealplaner"*.

2.1 Hendelseskart

Hendelseskart viser registrerte skred. Hendelseskart kan vise områder som indikerer utbredelsesområdet for hver enkelt hendelse, linjer som beskriver ulike grenser for hver hendelse (for eksempel bruddkant, avgrensning av utløp) eller punkter som angir plasseringen av en hendelse. For hver hendelse kan det gis informasjon om tidspunkt og type hendelse, hvor opplysningene stammer fra, og om intensitet i hendelsen (for eksempel trykk, hastighet, skader).

2.2 Aktsomhetskart

Aktsomhetskart viser *potensielle* løsneområder og utløpsområder for skred. Kartene gir ikke opplysninger om skredsannsynlighet. Aktsomhetskart er vanligvis utarbeidet ved

3 Grunnlagsmateriale for vurdering av skredfare

Aktsomhetskart, faresonekart og hendelseskart

Disse karttypene er omtalt i kap. 2 og kap. 5.2, og i NVEs retningslinjer ”Skred- og flomfare i arealplaner”. Aktsomhetskart og faresonekart er både produkter av og grunnlagsmateriale for kartlegging av skredfare.

Topografiske kart og digitale terrengmodeller

Topografiske kart gir informasjon om terrenghelning og terrengformer. Topografisk hovedkartserie i Norge (målestokk 1:50.000 og 20 m ekvidistanse, med 25 x 25 m grid) er brukt som grunnlag for de landsdekkende aktsomhetskartene for skred.

Ved bruk av digitale terrengmodeller kan det blant annet lages helningskart som er et viktig grunnlag for å identifisere mulig skredfare. Videre bruk av digitale terrengmodeller til GIS-analyser for beregning av utbredelse av faresoner mv.

Statens kartverk har forvaltningsansvar for innhenting og forvaltning av situasjonsdata og høydegrunnlag. De fleste kommuner og statlige etater er part i Norge Digitalt, der også ulike temadata rapporteres inn.

Av landsdekkende terrengmodeller er det utarbeidet ny modell med 10 x 10 meters grid, der det finnes 5 meterskoter samt høyde på senterlinje vei er tatt inn. For områder der kun finnes modeller med 20 meterskoter nyttes disse.

1 meters- og 5 meterskoter finnes digitalt for de fleste tettsteder og byer.

Gjennom Geovekst-samarbeidet, er en god del områder i Norge laserskannet. Dataene her finnes som punkter, ofte med en tetthet på 0,7 – 2 pkt/m² (terrengnivå og overflate). 1 meters koter genereres (avledes) fra laserdataene. Konsulenter og kommuner kan inngå avtale om tilgang til aktuelle kartdata.

Flyfoto og satellittdata

Flyfoto er et nyttig hjelpemiddel for å identifisere skredbaner, for eksempel spor i vegetasjonen, sprekker i berggrunnen eller skredavsetninger. Skråfoto tilgjengelig via nettportalen <http://www.norgei3d.no/> gir også gode muligheter for terrenganalyse.

Berggrunnsgeologiske kart

Geologiske kart gir informasjon om bergartstype, strøk og fall, sprekkesystemer og forkastninger som er relevant for vurdering av stabiliteten av en bergskrent.

NGU har gitt ut berggrunnskart over hele Norge i målestokk 1:250 000. Mer detaljerte kart finnes i større målestokker, vanligvis målestokk 1:50.000. Totalt er det utgitt ca. 340 kart i denne målestokken hvorav vel hundre er trykt i farger eller kan leveres som fargeplott. Kartene er også tilgjengelig gjennom NGUs digitale kartdatabase (www.ngu.no).

Kvartærgeologiske kart

Kvartærgeologiske kart beskriver løsmassedekket og gir informasjon om bl.a. type og mektighet av løsmassene og overflateformer (blant annet eldre skredløp og skredavsetninger). Type løsmasser gir indikasjon om stabiliteten. Stor løsmassetykkelse indikerer mulighet for store skred med lengre utløp. Følgende kart er tilgjengelig:

- Løsmassekart/ kvartærgeologiske kart 1:250 000, NGU, serie med fylkeskart, utgitt fram til 2005
- Kvartærgeologisk kart over Norge. Tema: Jordarter 1:1 mill, NGU 1990
- Kvartærgeologiske kart over Nordkalotten 1:1 mill, NGU 1986-1987
- Kvartærgeologiske kart over Midt-Norden 1:1 og 1:2 mill, NGU 1999
- Kvartærgeologisk kart over Finnmark 1:500 000, NGU 1996
- Kvartærgeologiske kart i målestokk 1: 50 000 for flere deler av landet, samt noen få kart i målestokk 1:20000.
- NGU rapport 2010.055 Status for geologisk kartlegging av løsmasser i områder hvor kvikkleire kan forekomme.

Oversikt over slike kart finnes på www.ngu.no.

På <http://www.ngu.no/kart/losmasse/> finnes oversikt over hvilke deler av landet som dekkes av digitale utgaver av analoge data.

Historisk kildemateriale

Nyttig kildemateriale om tidligere skred finnes gjerne i:

- Hendelseskart
- www.skrednett.no
- Kirkebøker
- Bygdebøker
- Avisarkiver
- Muntlige overleveringer (intervjuer av lokalkjente)

Meteorologiske data

Relevante data er nevnt i beskrivelsen av hver skredtype i kap. 8.

4 Metode for utredning av skredfare

Utredning og kartlegging av skredfare krever inngående forståelse av alle skredprosesser og forhold som har betydning for utløsning og rekkevidde av skred.

4.1 Fremgangsmåte

Skredfarevurdering kan deles inn i følgende trinn:

1. Fastsettelse av detaljeringsgrad og omfang for utredningen. Før en går i gang med arbeidet må dette være avklart og avstemt etter de ressurser som er avsatt og i forhold til det utredningen skal brukes til.
2. Innsamling og gjennomgang av eksisterende grunnlagsdata. Slike data er listet opp i kap. 3. Målet med denne gjennomgangen er å identifisere potensielle fareområder (løsne- og utløpsområder) for ulike typer skred, basert på eksisterende aktsomhets- og skredfarekart, data om topografi/geomorfologi, geologi/grunnforhold, hydrogeologi, klima, vegetasjon og tidligere skred (både historiske opplysninger og spor etter tidligere skred i terrenget).
3. Feltarbeid. Skredfarevurdering baseres i stor grad på feltobservasjoner. Målet er å verifisere og karakterisere forhold som har betydning for skred. Omfanget av feltundersøkelsene er avhengig både av ønsket detaljeringsgrad og kvaliteten på eksisterende data for området. En viktig del av feltarbeidet er å verifisere spor etter tidligere skredhendelser (både løsneområder, skredbaner og skredavsetninger), og undersøke forhold som har betydning for skredutløsning og rekkevidde (slike forhold er beskrevet i omtalen av hver skredtype i kap. 8).

Ved detaljert kartlegging vil det noen ganger være nødvendig med målinger med sikte på å få nøyaktige tverr- og lengdeprofiler av terrenget (dersom det ikke finnes terrengmodeller med detaljerte høydedata for området).

4. Vurdering av sannsynlighet og utløpsdistanse for skred (ev. også oppskyllingsområder for flodbølger der dette er aktuelt), herunder bruk av beregningsverktøy. Følgende trinn gjennomgås:
 - Avklare hvilke typer skred som kan opptre i området.
 - Identifisere utløpsområder og vurdere størrelse (areal/volum på materiale som kan løsne) for hvert potensielle skred, og vurdere sannsynligheten for utløsning av skred med ulike størrelser.
 - Identifisere forventet skredbane og beregne rekkevidde og ev. hastighet for skred med ulike størrelser, ved bruk av statistiske/empiriske metoder eller dynamiske modeller.
5. Til slutt foretas en samlet vurdering av utløpsdistanse/størrelse for skred med gitte, årlige sannsynligheter (sannsynlighetene gitt i de ulike sikkerhetsklassene i byggeteknisk forskrift). Fastsettelse av sannsynlighet må til syvende og sist skje ved et faglig skjønn.

4.2 Nærmere om vurdering av skredsannsynlighet

Det finnes en rekke metoder som er til hjelp for å anslå skredsannsynlighet fra ulike sett av informasjon, se f.eks. Picarelli (2005). Metodene kan forenklet oppsummeres slik:

- Vurdering av historiske data om skred i området eller arealer med tilsvarende karakter (geologi, geomorfologi, klima)
- Bruke spor etter skred i terrenget (kombinert med historiske data) og geomorfologi, geologi, klimadata (nedbør, snøforhold), grunnvannsforhold og andre faktorer.
- Finne sammenhengen mellom historiske skred og forhold som uløser skred slik som nedbør (intensitet, mengde, varighet), snøforhold.
- Direkte vurdering av skredsannsynlighet ved ekspertvurderinger, f.eks. ved bruk av hendelsestre-metode.
- Modellering av de variabler som har betydning for skredutløsning og rekkevidde.

4.3 Bruk av beregningsverktøy

Det finnes en rekke verktøy til beregning av dynamikk og rekkevidde av skred. Aktuelle verktøy for de enkelte faretyper er nevnt i omtalen av de enkelte skredtyper i kap. 8. Disse beregningsverktøyene bør bare benyttes i farevurderinger som supplement til observasjoner gjort i terrenget (geomorfologi og geologi, tidligere hendelser) og erfaring.

Ved bruk av regneverktøy må det dokumenteres hvilke parametre som er brukt til beregningene (etterprøvbarehet) og hvorfor parametersettet er valgt. Usikkerheten i modellresultatene som følge av usikkerheter i inngangsparametre og beregningsmetoder bør kvantifiseres ved hjelp av sensitivitetsanalyser eller probabilistiske/stokastiske metoder, og skal diskuteres i rapporten.

Det må dokumenteres at beregningsverktøyene er verifisert (for eksempel ved å regne på tilfeller med kjente løsninger) og validert (for eksempel ved etterregning av tidligere hendelser eller sammenlikning med fysiske laboratorieforsøk). Videre må stabilitet og konvergens av numeriske beregninger kunne dokumenteres for beregningsverktøy der dette er relevant. Ved bruk av kommersielle, velprøvde beregningsprogrammer er dette ikke nødvendig. Ved bruk av empiriske modeller må en påse at modellen passer for det aktuelle området/det aktuelle skredet (for eksempel størrelse og terrengform). Dersom en velger andre parametre, bør valget diskuteres og begrunnes i rapporten.

For beregningsverktøy som benyttes i kartlegging må det dokumenteres at verktøyet er i stand til å lokalisere allerede kjente fareområder.

Kvantifisering av skredfare med de årlige sannsynligheter som er gitt i sikkerhetsklassene i byggeteknisk forskrift er nødvendig dersom skredfarekart skal nyttes i forbindelse med reguleringsplaner og byggesaker. Dette krever vurdering av både omfang og frekvens.

5 Vurderinger på kommuneplannivå

5.1 Hensikt

Hensikten med vurderinger på kommuneplannivå er å identifisere aktsomhetsområder (potensielle fareområder). På kommuneplannivå er det i utgangspunktet ikke nødvendig med en nærmere kvantifisering av faregraden (som i faresonekart).

5.2 Identifisering og avgrensning av aktsomhetsområder

De landsdekkende aktsomhetskartene for snøskred som finnes på www.skrednett.no kan nyttes direkte for en første identifisering og avgrensning av potensiell snøskredfare (aktsomhetsområder) på kommuneplannivå. Aktsomhetsområdene for snøskred dekker også mulige områder med steinsprang og jordskred. Høydemodellen som er nyttet for generering av de landsdekkende aktsomhetskartene fanger imidlertid ikke opp isolerte skrenter på under 30 - 50 m høyde.

For deler av landet finnes det eldre snø- og steinsprangkart utarbeidet av NGI. Ved utarbeidelse av disse kartene er det foruten bruk av modeller, gjort befaringer av skredfaglig sakkyndige. Ved avgrensning av aktsomhetsområdene har en vurdert sannsynlig skredutløp i forhold til lokale terrengforhold, skogdekke og andre lokale faktorer. Aktsomhetsområdene på de eldre kartene har derfor som hovedregel noe mindre utstrekning enn aktsomhetsområdene på de nye landsdekkende aktsomhetskartene. NGIs kart kan brukes til å avgrense aktsomhetsområder for jordskred, snøskred og steinsprang i stedet for de nye nasjonalt dekkende aktsomhetskartene.

Sonene på et aktsomhetskart skal normalt ha såpass store sikkerhetsmarginer at de dekker alle potensielle fareområder for den eller de aktuelle skredtypene kartleggingen omfatter. Som hovedregel vil utstrekningen av fareområdene bli innskrenket ved mer detaljerte undersøkelser med feltbefaringer. I områder der det planlegges utbygging vil det allerede på kommuneplannivå lønne seg å få utført en nærmere skredfaglig utredning enn det som ligger til grunn for de landsdekkende, automatisk genererte aktsomhetskartene. På denne måten vil man unngå en rekke unødige enkeltvurderinger på de andre plannivåene.

Områder med fare for flomskred og sørpeskred kan ligge utenfor aktsomhetsområdene for snøskred vist på de landsdekkende snøskredkartene og NGIs snø- og steinsprangkart. For sørpe- og flomskred vil det normalt være tilstrekkelig å ta hensyn til bekkeløp som fremkommer fra den topografiske hovedkartserien. I prinsippet må alle bekkeløp brattere enn 10° betraktes som potensielle fareområder for sørpe- og flomskred. Det vises til kapittel 8 for nærmere omtale av de enkelte skredtyper.

5.3 Krav til og omfang av undersøkelser og leveranser

Undersøkelsene på kommuneplannivå må som et minimum omfatte:

- Innsamling av data om historiske skred, eksisterende aktsomhetskart og skredfarekart.
- Kartanalyse basert på kart i målestokk 1:50.000 utført med bruk av terrengmodell (GIS) og flybildestudier.
- I fjellsider med kjente skredhendelser og mer omfattende skredutfordringer bør det i tillegg gjennomføres en feltbefaring (av skredkyndige) som innbefatter nedre deler av fjellsidene.

Leveransen må være skriftlig og inneholde følgende dokumentasjon:

- Kart, bilder og geografisk beskrivelse av studieområdet.
- Mål (herunder opplysning om detaljeringsnivå) og metoder.
- Hvilke faretyper som er relevante, med begrunnelse (basert på observasjoner og data om topografi, geologi, klima, grunnforhold og tidligere skred).
- Beskrivelse av hva som er gjort av feltbefaringer og analyser.
- Hvilke metoder som er benyttet for å identifisere og avgrense aktsomhetsområdene, herunder hvilke regneverktøy som er nyttet for å beregne rekkevidden av mulige skred.
- Resultatet av undersøkelsene i form av kart som viser ustrekning av potensielle fareområder.
- Presisering av eventuelle forutsetninger som gjelder for avgrensning av aktsomhetsområdene, f.eks. bevaring av skog. Områder der slike forutsetninger gjelder, kartfestes.

6 Vurderinger på reguleringsplannivå

6.1 Hensikt

På reguleringsplannivå er målet å kartlegge fare i forhold til sikkerhetskravene i byggt teknisk forskrift (TEK10). På dette nivået må både derfor utbredelse og sannsynlighet av en mulig hendelse kvantifiseres. Normalt presenteres resultatene som et faresonekart.

Dersom det avdekkes bygge- eller utbyggingsområder som ikke overholder de gjeldende krav til sikkerhet er det behov for iverksetting av tiltak for å redusere faren. Hvis tiltak er påkrevd for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet bør det på dette plannivået utarbeides en oversikt over mulige tiltak, og et grovt kostnadsoverslag som viser om tiltak er realistisk. For arealkrevende tiltak som f.eks. skredvoller må plassering og omfang av tiltaket antydes på kart. Detaljert utforming av sikringstiltak hører hjemme på byggesaksnivå.

6.2 Identifisering og avgrensning av faresoner

Følgende metoder og bakgrunnsmateriale benyttes i tillegg til det som er nevnt i kap.5:

Avhengig av typer skred som er aktuelle, må vurdering av rekkevidden av skred med ulike sannsynligheter baseres på:

- Grunnforhold (stabilitet).
- Klimatiske forhold (www.met.no).
- Topografiske forhold.
- Statistiske og (probabilistiske) dynamiske modeller for utløsning og rekkevidde.
- Opplysninger om tidligere skredhendelser (historiske opplysninger eller geomorfologiske spor i terrenget).
- Stratigrafiske undersøkelser.
- Feltbefaring.
- Beregningsverktøy (statistiske/topografiske og dynamiske modeller) for utstrekning av skred.

For å angi en grense for skred med gitte årlige sannsynligheter må følgende inngå:

- Vurdering av hvilke topografiske, geologiske, geotekniske og klimatiske faktorer som har betydning for de skredtyper som er aktuelle i området.
- Angivelse av hvor store skred (areal og volum) som kan bli utløst med den gitte årlige sannsynlighet basert på topografiske, geologiske, geotekniske og klimatiske faktorer.
- Beregning av hvor langt skred med gitt størrelse kan nå ut i dalbunnen basert på tidligere skredhendelser, spor i terrenget, bruk av relevante beregningsverktøy og faglig skjønn basert på erfaring.

Modellene for beregning av rekkevidde må justeres i forhold til terreng- og klimaforhold.

Siden beregningene er beheftet med usikkerhet, kan det i noen tilfeller være hensiktsmessig å angi en øvre og en nedre faregrense som reflekterer usikkerheten. Dette gjelder særlig på steder der mye eksisterende bebyggelse blir liggende innenfor faregrensen. Ny bebyggelse bør i så fall anbefales å legges utenfor den ytre grensen (inkludert sone som viser usikkerheten). For eksisterende bebyggelse innenfor usikkerhetssonen kan man ikke uten videre på faglig grunnlag konkludere med at sannsynligheten for skred er større enn sikkerhetskravene i byggeteknisk forskrift. Eventuelt kan det vurderes å gjennomføre mer detaljerte undersøkelser på et senere tidspunkt for nærmere kvantifisering av faregraden.

Som regel vil den skredtypen som har størst utbredelse være dimensjonerende for plassering av faregrensen.

6.3 Krav til og omfang av undersøkelser og leveranser

Nedenfor nevnes krav og omfang som gjelder i tillegg til det som er nevnt på kommuneplannivå.

Undersøkelsene må omfatte:

- Datainnsamling.
- Kartanalyse basert på kart i målestokk 1:5.000 eller større og terrengmodell.
- Feltbefaring der både utløsnings- og utløpsområder blir undersøkt.
- Bruk av regneverktøy (statistiske/topografiske og dynamiske modeller) for beregning av stabilitet og rekkevidde.

Leveransen må være skriftlig og inneholde følgende dokumentasjon:

- De samme punkter som beskrevet for aktsomhetskartleggingen fra kommuneplannivået, med en oppsummering av resultatene derfra.
- En analyse av topografi, vegetasjon, hydrologi og klima.
- Helningskart.
- Beskrivelse av grunnforhold.
- Beskrivelse av hva som er utført av feltbefaringer.
- Beskrivelse av regneverktøy og resultatene fra beregningene.
- Beskrivelse av sannsynlighet og utbredelse for alle aktuelle skredtyper.
- Kart som viser fareområder med nominelle gjennomsnittlige årlige sannsynligheter i samsvar med sikkerhetsnivåene i byggeteknisk forskrift.
- Oversikt over og grovt kostnadsoverslag for aktuelle sikringstiltak dersom det planlegges utbygging innenfor fareområdene.
- Presisering av eventuelle forutsetninger for avgrensning av faresonene, f.eks. bevaring av skog. Områder der slike forutsetninger gjelder angis på kartet.

7 Vurderinger på byggesaksnivå

7.1 Hensikt

Målet er å avklare at skredfare ikke er til hinder for bygging, dvs. at tomta tilfredsstiller kravene i byggteknisk forskrift, ev. hvilke sikringstiltak som må gjennomføres for å tilfredsstille disse kravene.

Dersom sikringstiltak er nødvendig, er hensikten å komme fram til optimale sikringsløsninger ut fra følgende kriterier:

- Sikringsløsninger som gir området tilfredsstillende sikkerhet.
- Lav restrisiko etter at sikringstiltaket er etablert.
- Sikringstiltak skal ikke medføre økt fare for skade i tilgrensende områder.
- Tiltak som i størst mulig grad er kostnadseffektive og estetisk/miljømessig akseptable.

7.2 Når trenges en vurdering på byggesaksnivå?

Dersom byggetomta ligger utenfor regulert område og skredfaren derfor ikke er vurdert slik som beskrevet i pkt 6 foran, må skredfaren vurderes på samme måte som beskrevet i pkt. 6. Det samme gjelder dersom tomta ligger innenfor en reguleringsplan som ikke er tilstrekkelige vurdert med hensyn til skredfare. Også ny kunnskap om skredfare som er kommet til etter at reguleringsplan ble vedtatt, kan gjøre det nødvendig med slik vurdering. Det er uansett tiltakshavers ansvar å dokumentere tilstrekkelig sikkerhet, og kommunens ansvar å påse at slik dokumentasjon foreligger når kommunen behandler byggesøknader.

Hvis det i forbindelse med reguleringsplan eller senere er avdekket at deler av planområdet ikke tilfredsstiller kravene til sikkerhet i byggteknisk forskrift, må det gjennomføres sikringstiltak før utbygging.

Som hovedregel bør utnyttelse av skredutsatte områder unngås. Dimensjonering av sikringstiltak er basert på modeller som er beheftet med usikkerhet. I unntakstilfeller kan det likevel være aktuelt å bygge i områder som er utsatt for skredfare, spesielt der store områder er skredutsatt og det er mangel på naturlig trygge arealer.

7.3 Metoder og bakgrunnsmateriale

Metoder og bakgrunnsmateriale for vurdering av sikringstiltak er helt avhengig av faretype og valgt sikringsløsning. Dynamiske modeller for beregning av skredforløp (rekkevidde og flytehighder/strømningsdybder), hastigheter, og trykk må inngå.

Viktige inngangsdata for planlegging og dimensjonering av sikringstiltak er:

- Skredvolum.
- Tetthet og vanninnhold i skredmasser.
- Flytehighde skred.
- Skredhastighet og skredtrykk.
- Snøhighde i løseområdet (for støtteforbygninger).
- Grunnforhold (for fundamentering).

7.4 Krav til og omfang av undersøkelser og leveranser

Planlegging av sikringstiltak krever detaljert feltbefaring.

Grunnforhold må vurderes med tanke på stabilitet, forankring og fundamentering av sikringsløsningene. Ved fundamentering på fjell må det foretas ingeniørgeologiske undersøkelser. Ved spesielle geotekniske utfordringer må det vurderes om det er behov for grunnundersøkelser. Dette gjelder spesielt dersom det skal gjøres større terreng-inngrep eller det skal etableres tiltak på løsmasser med stort innhold av silt og leire. For sikringsvoller må det vurderes om stedlige masser er velegnet som byggemateriale.

Hydrologiske forhold må vurderes med tanke på erosjon og forsvarlig drenering av overflatevann.

Leveransen skal være en rapport med detaljert beskrivelse av hensiktsmessige sikringsløsninger og hva som ligger til grunn for utforming og dimensjonering av disse. Det må kunne dokumenteres at området vil ha tilstrekkelig sikkerhet når tiltaket er gjennomført. Det må også påvises at tiltakene ikke øker farenivået for tiliggende områder. Dette kan for eksempel skje ved at en ledevoll leder skredmasser mot og øker skredfaren for andre bebygde områder.

Videre må estetiske forhold/landskapsarkitektur vurderes og beskrives, for eksempel med hensyn til plassering, utforming, beplantning og oppstramming av voller.

For endelig valg av løsning må de ulike alternativene kostnadsberegnes. Vedlikeholdskostnader må også inngå.

For å sikre at tiltakene implementeres som beskrevet bør konsulent jevnlig være til stede for kontroll/oppfølging av sikringstiltakene. Som hovedregel bør prosjekterende foreta sluttkontroll og godkjenning av tiltaket.

8 Utredning av skredfare for de enkelte skredtyper

8.1 Generelt

Et *skred* er et naturfenomen der tyngdekraften bidrar til at materialer som stein, løsmasser eller snø beveger seg nedover en skråning i terrenget. Bevegelsene kan skje gjennom fall, glidning eller en rask strøm av masse, og selve skredet kan også inneholde vann i ulike mengder. Én enkelt skredhendelse kan ofte vise seg å være en kombinasjon av ulike skredtyper og/eller en kombinasjon av flom og skred. Det norske språket inneholder mange ord for skred; for eksempel *ras*, *skrie*, *lavine*, *fall*, *landlaup*, *svor*, *fjellrap*, *fonn*. Disse ordene har ingen klare definisjoner, og betydningen kan variere med hvor i landet man er. Skredmasser som går ned i vann kan danne flodbølger.

I de fleste områder med bratt terreng kan ofte flere av faretypene forekomme. For en komplett skredfarevurdering kreves derfor en analyse av alle relevante skredtyper.

Vanligvis deles skredbanen inn i tre deler:

- Løsneområdet (eller utløsningsområdet)
- Skredløpet
- Utløpsområdet

Dette er nærmere beskrevet under de enkelte skredtyper.

De mest relevante skredtypene i Norge er:

- Snøskred
- Sørpeskred
- Jordskred
- Flomskred
- Steinsprang og steinskred
- Fjellskred

Skredtypene er omtalt under. I tillegg er det gitt en omtale av skredgenererte flodbølger.

8.2 Snøskred

Snøskred deles gjerne inn i tre hovedtyper: Løssnøskred, flaskred, og sørpeskred. Sørpeskred er omtalt separat i kap. 8.3



Figur 2: Snøskred på Strynefjellet (Foto: NGI).

Løssnøskred er utløsning av skred i løs snø med liten fasthet. Løssnøskred starter gjerne med en liten lokal utglidning. Etter hvert som snøen beveger seg nedover, blir nye snøkorn revet med og skredbanen utvider seg slik at det får en pæreform.

Et *flaskred* oppstår når en større del av snødekket løsner som et flak langs et glideplan, et underliggende svakt sjikt i snødekket, en grenseflate mellom to snølag med forskjellig fasthet eller mot bakken under snøen. Flaskred kan bli flere kilometer brede og involvere enorme snømengder som ofte rekker helt ned i dalbunnen. Som regel er det flaskred som fører til dødsulykker og skader på bygninger.

Både flaskred og løssnøskred med stor fallhøyde kan oppnå hastigheter på over 60 m/sek. Allerede fra hastigheter på ca. 20 m/s vil skredet kunne mobilisere luftmassene

slik at det oppstår en skredgufs (også kalt fonnvind) med kraft til å knekke trær, stolper og skade vinduer og lette byggverk.

I et flakskred vil skredmassene bestå av tre lag:

- Et flytelag bestående av faste snømasser med tykkelse normalt rundt 1-2 m og tetthet 150-300 kg/m³.
- Et saltasjonslag bestående av snøklumper som hopper og spretter oppå flytelaget.
- I tørre snøskred en snøsky øverst som kan bli flere titalls meter høy med tetthet 10-50 kg/m³. Snøskya kan i noen tilfeller fortsette tvers over dalbunnen. I flere tilfeller er det kjent at snøskya har slått inn vinduer og ødelagt skog.

Det kan også skilles mellom tørre og våte snøskred. Tørre snøskred går lengst og vil vanligvis være dimensjonerende når faresoner skal identifiseres.

Terreng-/grunnforhold i løseområdet

Snøskred utløses vanligvis der terrenget er mellom 30° og 60° bratt. Der det er brattere enn dette glir snøen stadig ut slik at det ikke dannes større snøskred. Fjellsider som ligger i le for de vanligste nedbørførende vindretninger, og skar, bekkedaler og andre forsenkninger der det samles opp snø, er mest utsatt for snøskred. Fjellrygger og fremstikkende knauser blåses som regel frie for snø. Hvis skogen står tett i løseområdet vil dette hindre utløsning av snøskred.

Skredenes størrelse og hyppighet er avhengig av flere forhold:

- Terrenghelning. I slake områder kan bruddkanten på et flakskred bli høy og skredene derfor større enn i bratte områder. Til gjengjeld vil skred gå mer sjeldent. I slake skråninger (30-35°) må det komme 1-2 m snø i løpet av tre døgn før det oppstår ustabile forhold. I en bratt fjellside vil rundt 0,5 m være nok.
- Tilfangsareal for snødrift har stor betydning for snøtilveksten i løseområdet.
- Hengretningen på en fjellside har stor betydning for hvor ofte og raskt det legger seg snø. En fjellside som ligger i le for fremherskende nedbørførende vindretning kan ha 3-4 ganger mer snø enn en fjellside som peker mot vinden. Langs vestkysten av Norge kommer det aller vesentligste av nedbøren i kombinasjon med vind fra vest. Det betyr at østvendte fjellsider har størst skredaktivitet.
- Klima. De viktigste klimatiske data er:
 - Nedbør (års- og månedsgjennomsnitt, maksimal observert døgnnedbør)
 - Snøhøyde (månedsgjennomsnitt, maksimalt observert snøhøyde)
 - Vind (hastighet og retning, nedbørførende vindretning)
 - Temperatur (både i løse- og utløpsområdet)

For vurdering av sannsynlighet (ut fra sikkerhetskravene i byggtekniske forskrift) må dataene behandles statistisk.

Utløsningsprosesser

Det må som regel komme 0,5-1 m snø i løpet av to til tre døgn, sammen med sterk vind, for at store snøskred skal bli utløst. Markerte temperaturstigninger kan også føre til at det går snøskred. Stabiliteten i snødekket har også betydning for når skred blir utløst.

Skredløpet og utløpsområdet

Snøskred av en viss størrelse når ut til en siktevinkel på 18 - 20°. Store skred på fjellet kan ha større utbredelse. Siktevinkel angir helningen på den rette linjen fra toppen av løснеområdet og ut til der skredet stopper.

Det er mange faktorer som innvirker på rekkevidden av snøskred:

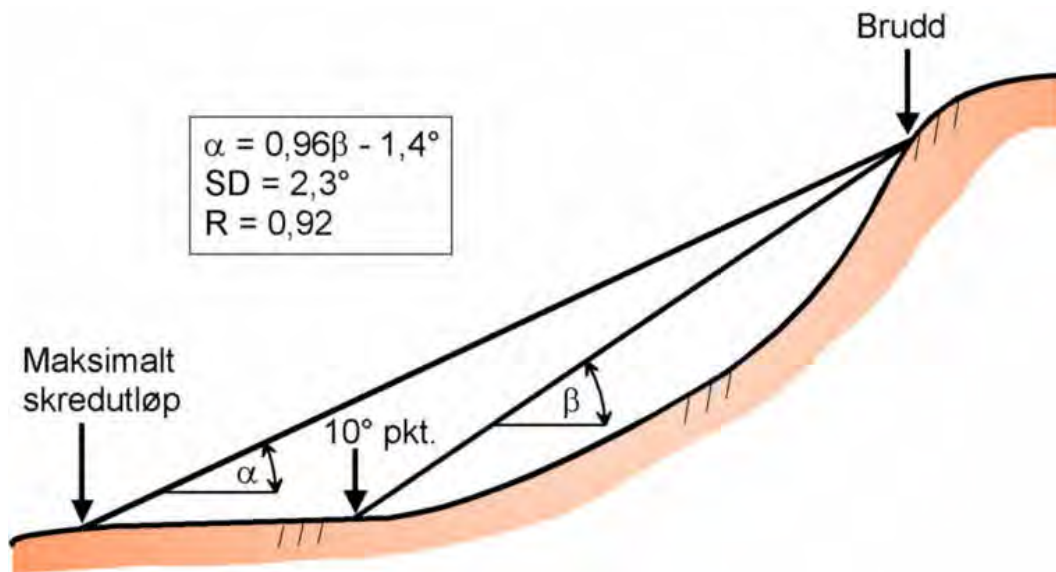
- Utløsningsvolum. Volumet kan beregnes ut fra arealet og antatt bruddhøyde på skred. Kritisk bruddhøyde er avhengig av terrenghelningen. Hvor ofte kritiske forhold oppstår, må vurderes ut fra klimatiske faktorer, hvor nedbørforhold og fremherskende vindretning har vesentlig betydning.
- Ruhet og vegetasjonsforhold i skredbanen. Store steinblokker vil bremse skred så sant de ikke snør ned. Skog opp mot løснеområdet vil også bremse, mens skog nede i utløpsområdet har liten betydning. Skogen vil ikke bremse skred i vesentlig grad dersom høydeforskjellen mellom skogen og toppen av løśnieområdet er større enn 100 m.
- Lengdeprofilets utseende. Glatte skredbaner uten markerte skrenter eller plataer vil gi skred med lengst rekkevidde. Rekkevidden er størst i relativt slake skredbaner der det er en jevn overgang mot dalbunnen.
- Skredbanens tverrprofil. Skred som følger svakt kanaliserte skredbaner vil normalt nå lengst. Markerte og dype gjel som i tillegg svinger, vil ha bremsende effekt på skredmassene.
- Muligheter for medrivning av snø. Erfaringsmessig vil skredbaner som er formet slik at skredmassene kan dra med seg ekstra snø få lengst utløp. Blant annet vil tett skog hindre medrivning, mens åpne forsengkninger der det ligger mye tørr og lett snø øker muligheten for at skredet kan dra med seg mye snø og få lang rekkevidde. Spesielt lange utløp har vært observert i fjellområder der snøen som regel er løst pakket fordi den ikke har vært utsatt for mildvær.

Beregningsverktøy

Det finnes to typer modeller for å beregne rekkevidden av snøskred:

- Topografiske/statistiske modeller som tar utgangspunkt i kjente skredutløp (for historiske skred)
- Dynamiske modeller basert på fysiske og matematiske beskrivelser av skredbevegelsen.

Den mest brukte topografisk/statistiske modellen i Norge er den såkalte alfa/beta-modellen (Lied og Bakkehøi 1980). Dette er en enkel modell som tar utgangspunkt i lengdeprofilet av fjellsiden. Over 210 skredbaner med kjent rekkevidde ligger til grunn for modellen. Rekkevidden blir angitt ved helningen på siktevinkelen (alfa) fra toppen av løśnieområdet og ned til ytre skredavsetning, se figur 3. Det er viktig å være klar over at modellen er utviklet for terrengforhold som gir mulighet for relativt store skred. Tolking av resultater fra modellen forutsetter lang erfaring med skred, da det vil være behov for skjønnsmessige vurderinger for å avgjøre om skred går kortere eller lengre enn den middelveiden modellen angir.



Figur 3: Skisse som viser parametre i alfa/beta modellen (SD er standardavvik, R er korrelasjonskoeffisient).

Det er i tillegg vanlig å benytte dynamiske modeller. Slike modeller forutsetter forståelse av fysiske prosesser i skredbevegelsen. I tillegg til å beregne rekkevidden vil disse modellene gi informasjon om hastighetsforløpet til skred. En viktig forutsetning for å få skred med lang rekkevidde er at skredet blir fluidisert, og dette forutsetter at skredet oppnår en hastighet på minst 20 m/s.

De mest brukte dynamiske modeller internasjonalt er:

- PCM (Perla m. fl. 1980)
- AVAL-1D (Christen m. fl. 2002)
- RAMMS (Christen m. fl. 2005)
- NIS (Norem m. fl. 1987)

En oversikt over modeller for å beregne rekkevidden av snøskred er utarbeidet av NGI (1998). Modellene for rekkevidde må justeres i forhold til terreng- og klimaforhold.

Sikringstiltak

De vanligste sikringstiltakene mot snøskred er:

- Snøskjermer på toppen av fjellsida for å redusere transporten av fokksnø ut i løseområdet.
- Støtteforbygninger i løseområdet for å forankre snødekket.
- Brems-, lede- eller fangvoller i utløpsområdet, se Jóhannesson m.fl. (2009).

8.3 Sørpeskred

Sørpeskred består av vannmettet snø. Sørpeskred følger vanligvis bekkeløp eller andre forsenkninger i terrenget. Skredmassene i et sørpeskred har høy tetthet. De kan derfor utrette store skader selv om volumet er forholdsvis beskjedent.

Overgangen mellom våte snøskred og sørpeskred kan være flytende. Noen ganger kan snøskred som går ned i en bekkeforsenkning gå over til å bli et sørpeskred når skredmassene blir tilført tilstrekkelige vannmengder. Store snøskred som går ned i vann kan også generere sørpeskred i bekkeløp som drenerer ut fra vannet.



Figur 4: Sørpeskred Hammerfest i 1994 (Foto: NGI).

Terreng-/grunnforhold i løsneområdet

Sørpeskred blir gjerne utløst fra relativt slake områder som for eksempel myrer der det samler seg mye vann. Sørpeskred har vært observert fra helninger ned mot 5°. Slike skred kan også bli utløst fra svaberg eller islagte bekkeløp der vann vanskelig unnslipper.

De viktigste faktorene som har innvirkning på forekomst av sørpeskred er:

- Helningsforhold og terrengformer langs løpet.
- Nedbørsfeltets karakter (helning, terreng, magasiner). Dette har betydning for hvor rask avrenningen skjer ved nedbør/snøsmelting.
- Tilgang til snø som ligger i løpet og eventuell tilførsel av snø fra sideskråninger ved snøskred.
- Snødekkets styrkeegenskaper. Løst pakket snø blir lettest revet med, for eksempel nysnø og grovkornet snø.

Utløsningsprosesser

Sørpeskred blir utløst enten ved kraftig regnvær eller ved intens snøsmeltning. Erfaringsmessig vil sørpeskred inntreffe når vanntilførselen overstiger 40 mm i døgnet. Mest vanlig er sørpeskred langs kysten av Norge når store snøfall blir etterfulgt av regn og mildvær, hyppigst tidlig på vinteren.

Skredløpet og utløpsområdet

Rekkevidden av sørpeskred er vanskelig å anslå. Det finnes dynamiske modeller som kan gi en pekepinn om utbredelsen. Bruk av slike modeller forutsetter at brukeren kjenner til begrensningene og har lang erfaring med vurdering av skredutløp. Vann med sørpe kan flyte langt og vil normalt ikke stanse før bekken drenerer ut i stille vann eller kommer ut i en flat dalbunn. Så lenge skredet følger et veldefinert løp er det mulig ut fra hydrauliske formler å beregne strømningshastigheten ut fra en gitt vannføring. Sørpeskred kan ta seg nye løp, utenfor etablerte bekkeløp.

Sikringstiltak

Det mest aktuelle sikringstiltaket er å utvide og forsterke bekkeløp som sørpeskred vil følge, med sikte på å lede skredmassene utenom områder der de kan gjøre skade.

8.4 Jordskred

Jordskred er utglidning av løsmasser i bratte skråninger langs en mer eller mindre definert glideflate. Jordskred starter med en plutselig utglidning i vannmettede løsmasser og løsner i et punkt eller bruddsone. I Norge kan jordskred i denne type bratt terreng ganske grovt omtales som kanaliserte eller ikke-kanaliserte jordskred.

Et kanalisert jordskred skjærer en kanal i løsmassene som fungerer som skredbane for senere skred. Skredmasser kan også gå over kantene av kanalen og avsettes som langsgående rygger parallelt med kanalen. Når terrenget flater ut blir skredmassene avsatt i en tungeform. Over tid bygger flere slike skred fra samme løp en vifte av skred-avsetninger. I de ikke-kanaliserte beveger massene seg nedover langs en sone som kan bli gradvis bredere og bredere. Noen slike skred har en trekantform, mens andre er mere uregelmessige i formen. De groveste massene avsettes nederst som en tungeformet rygg.

Mindre jordskred oppstår også i slakere terreng med finkornet, vannmettet jord og leire, gjerne på dyrket mark eller i naturlig terrasseformede skråninger i terrenget. De er særlig vanlige om våren, når jord eller leire kan skli oppå telen. Slike skred er sjelden særlig dype, og de omtales derfor ofte som *grunne skred*.



Figur 5: Jordskred i Innfjorden i 1989, Rauma kommune i Møre og Romsdal (Foto: NGI).

Terreng-/grunnforhold i løснеområdet

Jordskred utløses i bratte fjellsider der det ligger løsmasser. Viktigste faktorer for stabiliteten av en skråning er:

- Helning og terrengform. Helningen må være brattere enn 30°. Forsenkninger er mest utsatt.
- Type og tetthet av vegetasjon. Røtter vil bidra til at løsmassedekket får økt styrke. Røtter vil også kunne øke permeabiliteten i jorda. I vekstsesongen vil vegetasjonen bruke vann og bidra til lavere vanntrykk i bakken.
- Hydrologiske forhold som vil påvirke hvor mye vann som tilføres løsmassedekket.
- Tykkelse, lagdeling og kornfordeling av løsmassene. Tykkelsen vil ha betydning for hvor store skredene kan bli. Lagdelingen vil kunne påvirke vanngjennomstrømningen. Dersom det finnes tette lag kan det bygge seg opp vanntrykk. Kornfordelingen vil foruten påvirke styrken, også ha betydning for hvor mye vann som kan bygge seg opp.
- Menneskelige inngrep som har endret den naturlige dreneringen.

I typiske friksjonsjordarter av grov sand og grus vil det vanligvis ikke bygge seg opp vanntrykk, fordi permeabiliteten er høy. Normalt vil skråninger i slike jordarter stå stabilt ved helningsvinkler lavere enn ca. 37°.

Finere jordarter av silt og leire har i tillegg kohesjon. Kohesjonen vil gi en økning av styrken. I fine jordarter virker også kapillære krefter. Ved fullstendig uttørking eller ved full vannmetning vil det kapillære suget bli borte, noe som kan føre til at stabiliteten av skråningen avtar.

I fine jordarter kan det bygge seg opp porevanntrykk. Dette vil svekke stabiliteten. Vanligvis vil en skråning med stort innhold av silt og leire være mer skredutsatt enn tilsvarende skråning av grovere masser.

Tele i bakken vil som oftest ha en positiv effekt på stabiliteten av en skråning. I områder med permafrost som for eksempel på Svalbard og i høyfjellsområder ellers i Norge, kan løsmassene over telehorisonten om sommeren bli nærmest flytende og lett gå til brudd.

Morene fra istiden utgjør størstedelen av løsmassedekket over den marine grensen i Norge. Stedvis er morenen overdekket av skredmasser. Typisk for morenen er at den er lite sortert med et innhold av silt og leire på 5-15 %. Morenen har vært utsatt for trykk fra isen, og dette kan bidra til høy fasthet. Foruten morene er også store arealer dekket med fluviale og glasifluviale avsetninger bestående av grov sand og grus.

Det skjer en kontinuerlig endring i lagdelingen i en morene ved utvaskning i den øverste delen der det er tilgang på oksygen, og utfelling lengre nede i jordprofilet der tilgangen på oksygen er mindre. Utfellingslaget vil være tett med lav permeabilitet. Frostpåvirking, uttørking, røtter og biologisk aktivitet vil gi det øverste laget en porøs struktur. Ved stor vanninfiltrasjon vil det kunne bygge seg opp positive porevannstrykk i overgangen mot det underliggende utfellingslaget. Dette laget ligger som regel på høyde med teledybden, vanligvis på 0,5-1,0 m dybde.

Erfaring viser at mange jordskred har blitt utløst som følge av menneskelige inngrep. Den vanligste årsaken er at de naturlige dreneringsforholdene endres slik at vannet blir ledet

konsentrert ut i fjellsider i større mengder enn det som er naturlig. Skogsbilveier og hogst er eksempler på inngrep som har gitt opphav til skred. Ved detaljert skredfarekartlegging er det derfor viktig å kartlegge om det har vært foretatt inngrep som har påvirket drenerings- og/eller stabilitetsforholdene.

Utløsningsprosesser

Viktigste utløsende årsak er oppbygning av vanntrykk i løsmassene. Jordskred blir gjerne utløst etter langvarig nedbør, eller etter korte og intense regnskyll. Sterk snøsmelting kan også føre til utløsning av slike skred, oftest i kombinasjon med regn. De fleste jordskred blir utløst på våren i forbindelse med intens snøsmeltning, eller på høsten i forbindelse med kraftig regnvær, eventuelt i kombinasjon med snøsmeltning.

Skredløpet og utløpsområdet

Rekkevidden av jordskred er avhengig av skredmassenes volum og vanninnholdet i massene. Forekomst av løsmasser både i utløpsområdet og langs skredløpet vil være avgjørende. Tykkelsen av løsmassedeckket i fjellsiden må derfor vurderes for å anslå volum på skred før avlagringen starter i utløpsområdet.

Skred i slake baner med jevn overgang mot dalbunnen når lengst. Erfaringsmessig vil skredmassene begynne å avlagres når terrenghelningen blir under 20-25°. Gjennomsnittlig siktevinkel fra toppen av løsneområdet og ned til ytre skredavsetning vil normalt være 25-30°. Store skred med stort vanninnhold vil kunne nå lengre.

Beregningsverktøy

En oversikt over numeriske regnemodeller for flom-, jord- og fjellskred er laget av NGI (2007).

Sikringstiltak

Tiltak for å hindre utløsning av jordskred vil normalt inkludere drenerings- og stabiliseringstiltak. Formålet med dreneringstiltak er å hindre at det bygger seg opp vanntrykk i løsmassene. Stabilisering av skråninger kan gjøres ved:

- Bruk av armering eller geotekstiler
- Beplanting
- Motfylling i skråningsfot

Sikringstiltak i utløpsområdet vil vanligvis bestå av terrengtiltak som har til hensikt å lede skredmasser utenom områder med skadepotensial.

8.5 Flomskred

Flomskred er et hurtig, vannrikt, flomlignende skred som opptrer langs klart definerte elve- og bekkeløp. Flomskred kan også følge raviner, gjel eller skar der det vanligvis ikke er permanent vannføring. Vannmassene kan rive løs og transportere store mengder løsmasser, større steinblokker, trær og annen vegetasjon i og langs løpet. Flomskred skiller seg fra jordskred ved at vanninnholdet er større og bevegelsesformen mer flytende. Flomskred forekommer relativt ofte og kan noen ganger føre til materielle skader og fare for menneskeliv.



Figur 6: Flomskred i Vågå 2007 (Foto: NGI).

Terreng-/grunnforhold i løsneområdet

Flomskred som følger bekker og elver kan bli utløst i løp med helning ned mot 10°. Skredmassene vil vanligvis bestå av materiale som stammer fra løpet. Tilførsel av skredmasser fra sideskråninger kan føre til oppdemning og flomskred. Menneskelige inngrep som har endret de naturlige dreneringsforholdene er ofte medvirkende årsak til flomskred. På en feltbefaring er det viktig å kartlegge hvorvidt det foregår aktiv erosjon langs bekkeløpet. Særlig viktig er dette i foten av bratte sideskråninger der muligheten for større utglidninger er til stede.

Utløsningsprosesser

Flomskred blir gjerne utløst etter langvarig nedbør med høy grunnvannstand, men kan også bli utløst som følge av korte, intense regnskyll. Sterk snøsmelting kan også føre til utløsning av flomskred, oftest i kombinasjon med regn. Nedbørfeltets egenskaper påvirker hvor raskt feltet reagerer på tilførsel av nedbør/snøsmelting. Flomskred opptrer hyppigst om høsten i forbindelse med kraftig regn, særlig langs vestkysten av Norge. I fjellområdene er det mest vanlig med flomskred på vårvinteren.

Skredløpet og utløpsområdet

Flomskred vil oftest legge opp vifteformede avsetninger i dalbunnen eller ned mot fjorden. Først vil det grove materiale avsettes (blokker og stein), og suksessivt vil finere kornstørrelser avlagres ettersom skredmassene mister farten utover i dalbunnen. De minste partiklene (silt og leire) kan følge med skredstrømmen helt ut dit strømnings-hastigheten nærmer seg null.

Vanligvis vil avlagringen starte når helningen på bekkeløpet blir mindre enn 15-20°. Erfaringsmessig kan skredmasser bestående av sand nå ut til siktevinkler på rundt 20°. Lengst utløp er gjerne forbundet med at skredmassene har stort vanninnhold og utløpsområdet er godt kanalisert.

Vannføringene for ulike årlige nominelle sannsynligheter kan vurderes ved bruk av hydrologiske modeller. I slike beregninger er det viktig å vurdere klimatiske forhold som påvirker vanntilførselen til bekkeløpet. Videre er det viktig å vurdere kritisk varighet og intensitet på nedbør og snøsmelting ut fra hvor raskt vannet renner gjennom nedbørfeltet.

Dersom kantene langs et bekkeløp er ryddet for vegetasjon og materialet i løpet er rensket fritt for mose og i tillegg er avrundet, kan dette tyde på skredaktivitet. Tungeformede av løsmasser rygger langs løpet (kalt løber) kan også være tegn på aktive skredløp. Det er særlig viktig å vurdere kapasiteten til bekkeløpet i toppen av skredvifter og i markerte svinger og utflatninger der det erfaringsmessig er størst fare for avlagring av løsmasser, og dermed fare for at skredet tar nye veier utenfor eksisterende bekkeløp.

De viktigste faktorene som har innvirkning på størrelse og rekkevidde av flomskred er:

- Helning (gradient langs bekkeløpet) og terrengformer.
- Tilgang til sedimenter langs løpet og eventuell tilførsel fra sideskråninger.
- På vifteformede avsetninger i dalbunn/ned mot sjøen: bekkeløpets kapasitet til å transportere skredstrømmen gjennom vifteområdet
- Geotekniske egenskaper til løsmassene i og langs løpet.
- Nedbør- og snødata.
- Temperatur- og vindforhold som kan påvirke graden av snøsmelting.

Beregningsverktøy

En oversikt over numeriske regnemodeller for flom-, jord- og fjellskred er laget av NGI (2007).

Sikringstiltak

Sikringstiltak mot flomskred kan deles inn i tre hovedtyper:

- Tiltak som har til hensikt å hindre erosjon, for eksempel terskler.
- Tiltak som kontrollerer sedimentasjonen og hindrer at løpene fylles på kritiske strekninger, for eksempel sedimentasjonsbasseng eller fangnett / -gjerder.
- Tiltak som leder skredmassene, for eksempel ledevoller og kanalisering.

8.6 Steinsprang og steinskred

Når en eller flere steinblokker løsner og faller, spretter, ruller eller sklir nedover en skråning, bruker vi begrepene *steinsprang* eller *steinskred*.

Steinsprang brukes om hendelser der steinmassene (én eller et fåtall steinblokker) til sammen har et relativt lite volum, inntil noen hundre m³. Når steinmassene til sammen oppnår et volum fra noen hundre til flere hundre tusen m³, snakker vi om *steinskred*. Steinblokkene beveger seg nedover stort sett uavhengig av hverandre. I et steinskred splittes blokkene ofte opp i mindre deler på vei nedover skråningen, mens steinene i et steinsprang ofte forblir intakte. Der hvor det over lang tid har gått mange steinsprang og steinskred, vil det dannes en ur (vanligvis med tungeformet) med de groveste steinmaterialene i foten av skråningen. Større steinskred river ofte med seg løsmasser underveis, og skredmassene kan sperre av trange daler og føre til lokal oppdemming av bekker og elveløp. Steinsprang og steinskred er den skredtypen som forekommer hyppigst i Norge.

Terreng-/grunnforhold i løsneområdet

Steinskred og steinsprang løsner vanligvis i bratte fjellpartier der terrenghelningen er større enn 40-45°. Steinsprangene utløses fra oppsprukket berg og overheng. Stein som ligger dårlig forankret i en bratt skråning kan begynne å rulle fordi løsmassene i skråningen siger.

Stabiliteten av et skrentparti bestemmes hovedsakelig av:

- Bergartstype
- Oppsprekkingsgrad
- Oppsprekkingsmønster
- Ruhet på glideplan
- Sprekkefylling
- Vanntilgang
- Røtter

Ingeniørgeologiske undersøkelser kan være påkrevd for å få et realistisk bilde av muligheten for utfall av løst berg samt større på og antall av løse steinblokker. Stabiliteten kan vurderes ut fra sprekkesystem, helning på glideplan, ruhet på sprekeflatene, jord og røtter på sprekker og mulighet for rot- og frostsprengning.

Utløsningsprosesser

Steinsprang kan forekomme gjennom hele året, med størst hyppighet om våren og høsten, enten som følge av frysing/tining og rotsprengning, eller pga. store nedbørmengder som fører til høyt vanntrykk i sprekke i fjellet. Frittliggende blokker kan også bli satt i bevegelse av slike prosesser.

Skredløpet og utløpsområdet

Steinsprang og steinskred beveger seg ved glidning, rulling og sprang. Erfaringmessig vil ikke steinsprang nå lengre ut enn en siktevinkel på 30° fra toppen av skrenten (NGI 1994). Steinblokker kan knuses mot bergnabber. Dette kan føre til steinsprut som kan slynges langt gjennom luften. Energien kan være stor og steinblokker kan rive med seg løsmasser nedover i skredbanen. I mange tilfeller vil det dannes en sky av steinstøv på grunn av kollisjoner mellom skredblokkene eller mellom skredblokkene og underlaget.



Figur 7: Eksempel på steinsprang mot veg i forbindelse med rensk av fjellside. Bildet gir en god illustrasjon på at blokkene spretter høyt og ikke bare følger bakken (fra Betongrenovering Drift AS informasjonsvideo 2009).

De fleste steinsprang stanser i ura og representerer ikke noen fare for aktiviteter utenfor. Antall steinblokker som forserer ura er oftest under 10 % av det som danner ura (NGI 1994). Likevel vil noen steinblokker møte mindre motstand, enten fordi de er vesentlig større enn blokkene i ura og lett ruller over ujevnhetene, eller fordi de har stor fart og spretter forbi ujevnhetene. De fleste stanser like utenfor foten til ura og antallet avtar raskt utover.



Figur 8: Bildet viser et eksempel på større steinblokker som har rullet ut i flatt terreng etter å ha forsert en lang ur som hadde for lite ruhet til å dempe og stanse disse steinblokkene. Ljøsne, Lærdal kommune i Sogn og Fjordane (Foto: NGI).

Beregningsverktøy

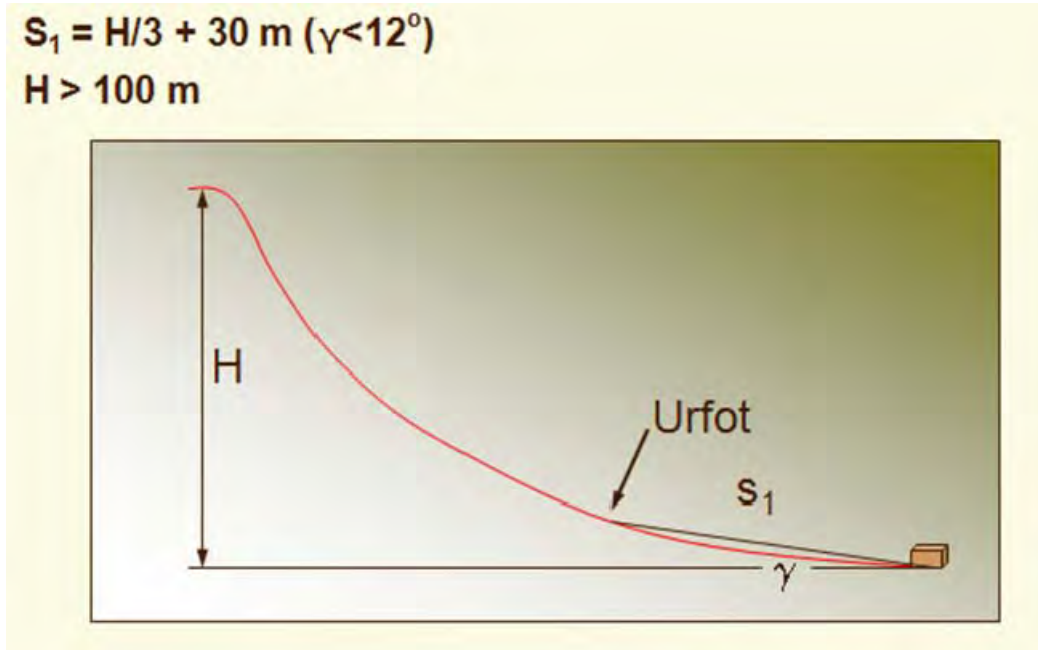
Programmer for å beregne stabiliteten av avløste enkeltblokker som glir ut er bl.a.: RocPlane (<http://www.rocscience.com/products/RocPlane.asp>, for plan utglidning) og Swedge (<http://www.rocscience.com/products/Swedge.asp> for kileutglidning). Begge programmer er tilgjengelige i markedet.

Viktigste input i modellene er sprekkegeometri (bl.a. sprekketetthet, helning på sprekker, eventuelle sprekkefyllinger).

Rekkevidden av skred kan beregnes ved bruk av to typer modeller:

- Topografiske/statistiske modeller
- Dynamiske modeller

Det er utviklet topografiske/statistiske modeller for beregning av rekkevidden til steinsprang basert på en analyse av mer enn 120 undersøkte enkeltsprang (NGI 1994; Keylock og Domaas 1999). En enkel tommelfingerregel er at steinsprang kan passere foten av ura med en distanse tilsvarende 1/3 av fjellsidens høyde pluss 30 m (NGI 1994), se figur 9. Denne modellen gjelder bare når fjellsiden er høyere enn 100 m og terrenget utenfor urfoten er slakt. Der terrenget er noe brattere utenfor urfoten ($>15^\circ$) vil steinblokker kunne rulle lengre.

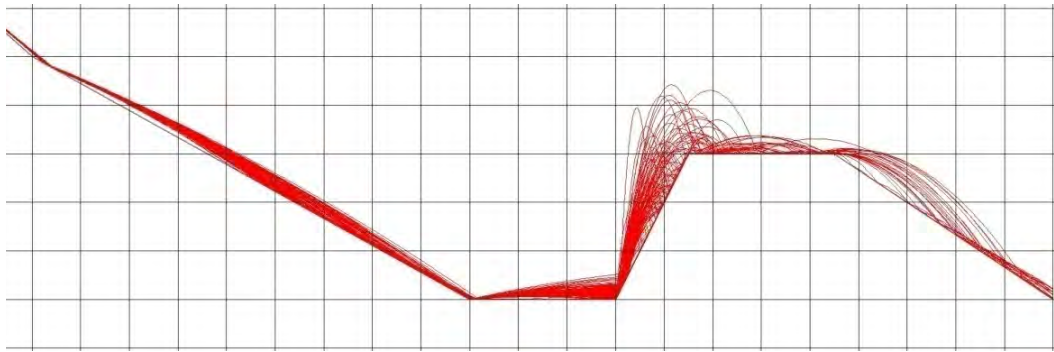


Figur 9: Prinsippskisse for estimering av rekkevidden til steinsprang.

De vanligste dynamiske modellene for beregning av rekkevidde er Rocfall (www.rocscience.com/products/RocFall.asp) og CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program, <http://www.dot.state.co.us/geotech/crsp.cfm>). Disse beregner steinsprang ut fra et profil i fjellsiden. Blokkene som faller ut kan tilordnes volum og vekt. Beregninger kan repeteres for å gi variasjonsbredde på resultatene. Beregningen forutsetter valg av restitusjon (energitap ved støt mot underlaget) langs banen, det vil si at blokkene spretter i varierende grad på forskjellig underlag. Ruhet i fjellsiden som kan gi høye sprang er ikke godt ivaretatt i modellene. Det er derfor viktig at modellene suppleres med feltarbeid og bruk av topografiske/statistiske modeller. Bruk av modeller forutsetter erfaring slik at verdiene som brukes i modellene er relevante.

Sikringstiltak

Ustabile bergpartier kan sikres med både bolter, nett eller understøping dersom de har begrenset utbredelse. Dersom skrentpartiet er stort og uoversiktlig er det vanlig å sikre med en fangvoll i utløpsområdet, eventuelt med et gjerde på toppen av fangvollen. I noen tilfeller kan det også benyttes fanggjerder (wirenett). Sikring av steinsprangområder krever ofte sammensatte løsninger for å oppnå ønsket sikringseffekt. Fanggjerder og fangvoller kan dimensjoneres til å stanse blokker opp til en viss størrelse, mens større blokker kan boltes.



Figur 10: Detaljer av sprang (røde linjer) mot en fangvoll beregnet med Rocfallmodellen. Rutenettet er 10x10 cm², bildet viser kun et mindre utvalg av repetisjonene.

Simuleringsmodeller for steinsprang kan også brukes til å se på effekten av for eksempel en fangvoll (figur 10). Flere tusen repetisjoner med ulik blokkstørrelse og varierende restitusjon og friksjon på underlaget gir en variasjonsbredde i svarene som igjen kan si noe om restsannsynlighet for steinsprang nedenfor tiltaket. Utfordringen ved modellbruk er å få til en realistisk variasjon i parameterverdiene.

8.7 Fjellskred

Vi bruker begrepet *fjellskred* om svært store skredhendelser der hundretusener til mange millioner m³ steinmasse beveger seg hurtig ned en fjellside. Underveis vil massene rive med seg vegetasjon, steinurer og andre løsmasser. Slike skred starter som oftest med store deformasjoner i en fjellskråning, slik at det oppstår et ustabilt fjellparti.

Bevegelsene kan skje gjennom en kompleks kombinasjon av fall, glidning eller en rask strøm av masse. Underveis vil steinblokker splittes i mindre fragmenter, og – i motsetning til steinskrud – kan skredmassene oppføre seg som en massestrøm med lang rekkevidde. I et dalføre vil fjellskredmassene kunne strekke seg flere kilometer oppover og nedover en dalbunn, og klatre opptil et par hundre meter oppover i motsatt dalside.

Det største kjente fjellskredet i Norge i historisk tid er Tjelleskredet i 1756 med et volum på om lag 15 mill. m³. Noen av de verste naturkatastrofene vi kjenner til i Norge er forårsaket av fjellskred som har generert flodbølger i fjord eller en innsjø. De siste store fjellskredene i Norge var i Loen og Tafjord på 1930-tallet, der skredene utløste store flodbølger. Fjellskred har inntruffet i de fleste deler av landet, men hyppigst har slike skred forekommet i de bratteste fjellområdene på Vestlandet og i Nord-Norge.



Figur11: Fjellskred fra Lifjellet, Hyllestad (Foto: NGI).

Masser fra fjellskred kan også demme opp elver. Hvis en slik demning brister kan dette føre til at det dannes en flodbølge nedstrøms.

Fjellskred skjer langt sjeldnere enn steinsprang og steinskred. Når de inntreffer kan konsekvensene bli mye større fordi store volumer er involvert, og fordi de kan generere store flodbølger. Siden det er få registrerte fjellskred i historisk er det vanskelig å beregne sannsynligheter.

Kartlegging av fjellskred er svært kostnadskrevende, og krever spesialkompetanse innen flere fagområder. NVE har derfor tatt ansvaret for en nasjonal kartlegging av fjellskredobjekter, og det forventes ikke at kommunene skal ta ansvar for dette. I denne veilederen gis det derfor bare en kort omtale av skredtypen, og ikke en nærmere beskrivelse av metoder og modeller for identifisering av fjellskredobjekter eller vurdering av skredsannsynlighet eller rekkevidde.

Terreng-/grunnforhold i utløsningsområdet

Fjellskred starter som oftest med store deformasjoner i en fjellskråning, slik at det oppstår et ustabilt fjellparti. Dette innebærer at fjellmassene er i ferd med å løsne fra underlaget. Ofte kan en observere sprekker som har utviklet seg over mange år. I noen tilfeller kan fjellpartiet stabilere seg og falle til ro oppe i fjellsiden. I andre tilfeller kan fjellpartiet fortsette å sige sakte helt til det slår seg til ro i en dal- eller fjordbunn.

Viktigste faktorer som har betydning er:

- Styrke på bergarten
- Oppsprekkingsgrad
- Ruheten langs glideplan
- Løst materiale på glideplan
- Helningen på mulige glideplan
- Vanntilgang

Om det foregår eller har forgått bevegelse (deformasjon) i et fjellparti har stor betydning for å vurdere muligheten for fjellskred. Det finnes en rekke metoder og instrumenter for å måle slik deformasjon. Geomorfologiske og stratigrafiske undersøkelser og dateringer av forhistoriske skred i dalbunner og fjorder kan gi et grunnlag for å anslå sannsynligheter.

Utløsningsprosesser

Fjellskred kan utløses av jordskjelv, vanntrykksfluktasjoner, erosjon, frostsprengning, tining av permafrost, forvitring og nedbrytning av sprekkeujevnheter og progressiv bruddutvikling i intakt berg. Frostsprengning er trolig kun en aktuell utløser for mindre fjellskred.

Skredløpet og utløpsområdet

Under skredbevegelsen foregår en defragmenteringsprosess som reduserer den indre friksjonen i massene, og mot underlaget. Dette fører til en strømningslignende bevegelse slik at fjellskred når lengre enn steinsprang og steinskred. Avsetninger fra fjellskred har en mer kaotisk, uregelmessig form enn avsetninger fra steinsprang og steinskred.

Sikringstiltak

Teoretisk er det mulig å gjennomføre fysiske sikringstiltak mot store fjellskred, slik som fjerning av ustabilt fjell (ved sprengning eller steinbrudd), eller drenering av grunnvann for å øke friksjonen. For mange store fjellskredobjekter er det praktisk og økonomisk umulig å gjennomføre fysiske sikringstiltak. Derfor er overvåkning og varsling basert på målinger av bevegelser i fjellsiden, og beredskapsopplegg for evakuering for å redusere faren for tap av menneskeliv, det mest aktuelle forebyggende tiltaket.

8.8 Skredgenererte flodbølger

En flodbølge er en bølge generert av en brå og kraftig forstyrrelse av vannmassene, som f. eks. et skred. En slik flodbølge blir gjerne kalt en tsunami, selv om denne betegnelsen opprinnelig er brukt for flodbølger generert av undersjøiske jordskjelv. Flodbølger kan også forårsakes av dambrudd, inkludert brudd i naturlige dammer dannet av fjellskred.

Flodbølger i sjø eller innsjø etter skred er lange nok til at de kan forplante seg gjennom trange sund, inn i havner, over grunne områder og innover land uten å brytes ned i like stor grad som vindgenererte bølger og dønninger. Strømningshastigheter og krefter kan bli vesentlig større enn i andre bølger av samme høyde.



Figur 12: Flodbølge som slår innover land på Årdalstangen 18. august 1983 (Foto: Kurt Johansen, eier: Årdal kommune).

Sannsynligheten for en flodbølgehendelse avhenger av sannsynligheten for skred-utløsning, sannsynligheten for at skredet når fram til vannet med et visst volum og en viss hastighet og genererer en viss initialbølge.

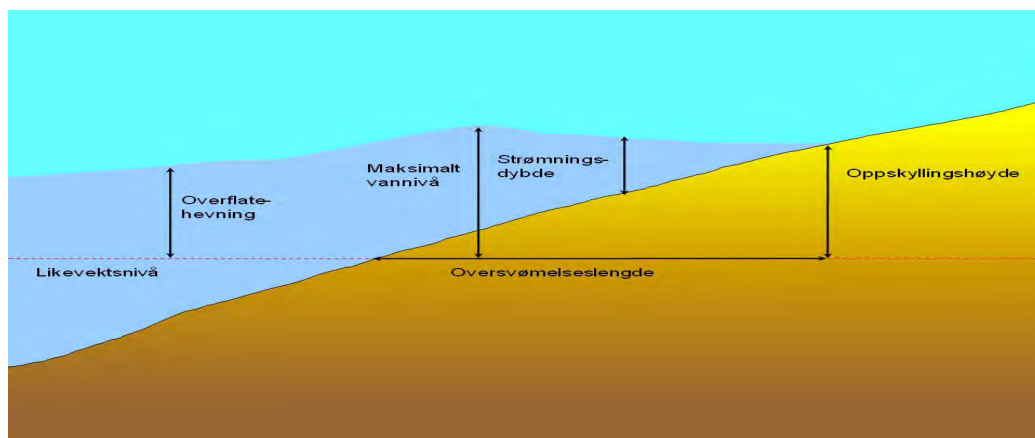
Det finnes gode beregningsverktøy for generering, utbredelse og oppskylling av flodbølger. Den samlede sannsynligheten må anslås ved hjelp av statistikk eller beregninger der man tar hensyn til usikkerhet i inngangsparametrene. Empiri og ekspertvurderinger vil måtte inngå. Mest sannsynlige og verst tenkelige tilfeller må diskuteres, eventuelt må en probabilistisk/stokastisk tilnærming anvendes.

Sammenfall av flodbølger, tidevann og stormflo må vurderes. Grad av ønsket sikkerhet må vurderes med tanke på høyde på tidevann, stormflo og fremtidig havnivåstigning. For modellering av skredgenererte flodbølger i sjø anbefales det at en normalt legger følgende vannstand til grunn: Midlere vannstand pluss estimert havnivåstigning 2010-2100, slik stigningen er beskrevet i rapporten *"Havnivåstigning. Estimer av fremtidig havnivåstigning i norske kystkommuner."* (Revidert utgave 2009). Rapporten er utgitt av

det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (rapporten finnes bl.a. på www.klimatilpasning.no).

Definisjoner

- *Bølgehøyde (wave height)*: Høydeforskjellen mellom bølgetopp og bølgedal, benyttes for å beskrive bølger i åpent farvann, dvs. før oppskylling inn over tørt land.
- *Overflatehevning (surface elevation)*: Vannivå i forhold til stillevannstand (likevektsnivå), positivt eller negativt. Begrepet benyttes for å beskrive bølger i åpent farvann.
- *Oversvømmelseslengde (inundation distance)*: Horisontalavstanden fra kystlinjen ved stillevannstand inn til det innerste oppskyllingspunktet.
- *Oversvømmeshøyde (inundation height)*: Vertikalavstanden fra stillevannstand opp til vannoverflaten ved oversvømmelse.
- *Strømningsdybde (flow depth)*: Vertikalavstanden fra terrenget opp til vannoverflaten ved oversvømmelse.
- *Maksimalt vannivå (maximum water level)*: Vertikalavstanden fra stillevannstand opp til høyeste vannivå ved oversvømmelse.
- *Oppskyllingshøyde (run-up height)*: Vertikalavstanden fra stillevannstand opp til det innerste oppskyllingspunktet.
- *Bølgelengde (wave length)*: Avstanden mellom to påfølgende bølgetopper.



Figur 13: Skisse med sentrale flodbølgeparametre.

Generering, utbredelse og oppskylling

Forløpet til en flodbølge deles gjerne opp i tre faser:

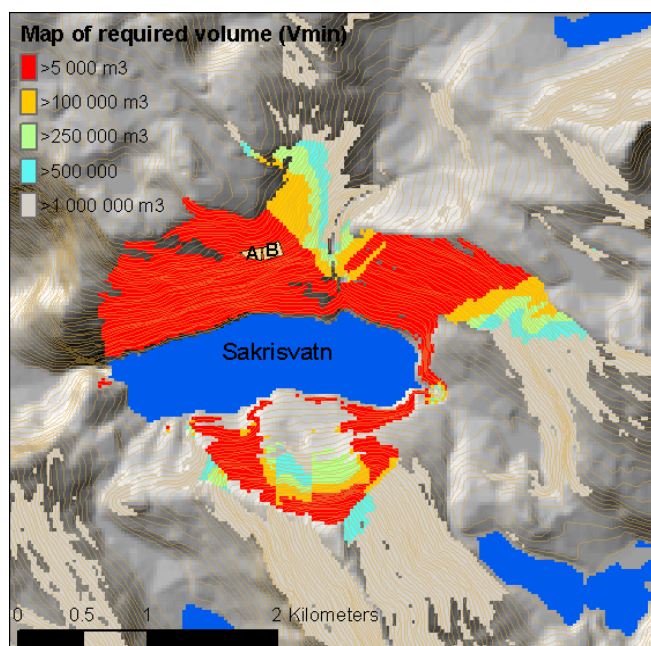
- Generering (overføring av energi fra skredet til bølgene)
- Utbredelse (forplantning av bølgen fra genereringsområdet mot oppskyllingsområdet)
- Oppskylling (oversvømming av ellers tørt land)

Slake strandsoner er mest eksponert for oversvømmelse og oppskylling. Naturlig nok er det også disse områdene der en finner mest bebyggelse og annen infrastruktur.

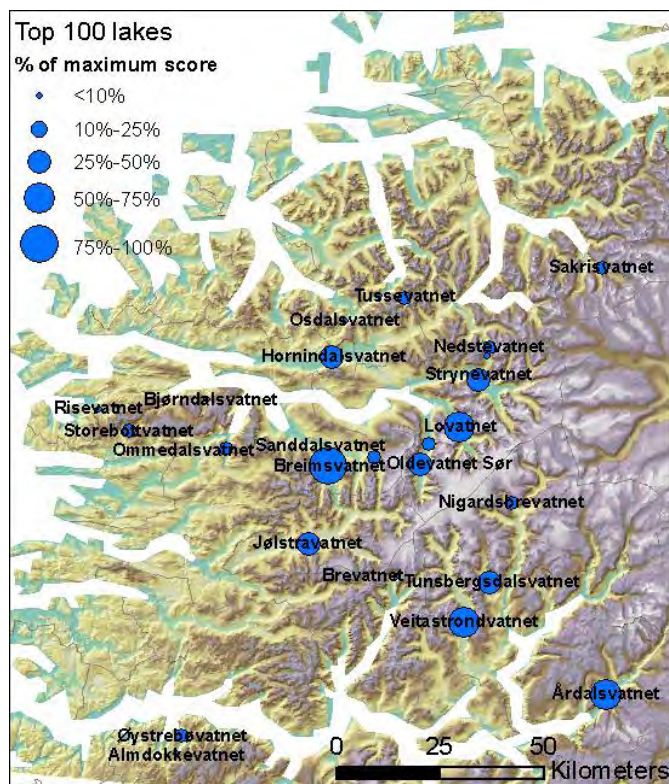
Beregningsverktøy

Det finnes få beregningsverktøy for sammenheng mellom skredbevegelsen og generering, utbredelse og oppskylling av flodbølger. Ett unntak er regnemodellen COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model, <http://ceeserver.cce.cornell.edu/pll-group/comcot.htm>). For beregning av bølgebevegelse må en kople ulike skred- og bølgemodeller på en hensiktsmessig måte. Det forutsettes en tilstrekkelig beskrivelse av ikke-lineære effekter som medfører at bølgetoppene forflytter seg raskere enn resten av bølgen (som igjen fører til krappere bølger og eventuell brytning), og av dispersive effekter som medfører at forplantningshastigheten avhenger av bølgelengden. En vurdering av operasjonelle flodbølgemodeller med oppskylling er utarbeidet av NGI (2008).

Aktsomhetskart for flodbølger kan lages ved hjelp av GIS-verktøy som identifiserer områder der skred med volum større enn 5000 m³ kan løsne og i tillegg nå sjø eller innsjø. Slike kart er laget for eksempel av Romstad m. fl. (2009), og kan benyttes til å peke ut områder som bør undersøkes nærmere, ev. som kan "friskmeldes" fordi fjellskred har for lite volum til at skredet vil nå vannet. Figur 14 viser et eksempel på at verktøyet er i stand til å lokalisere allerede kjente fareområder (fjorder eller innsjøer med tidligere skred- og bølgehendelser).



Figur 14: Eksempel på kart som viser det minste volum som skal til for at et fjellskred ut fra en statistisk sammenheng mellom volum og utløpslengde kan nå fram til Sakrisvatn, Norddal (fra Romstad m.fl. 2009).

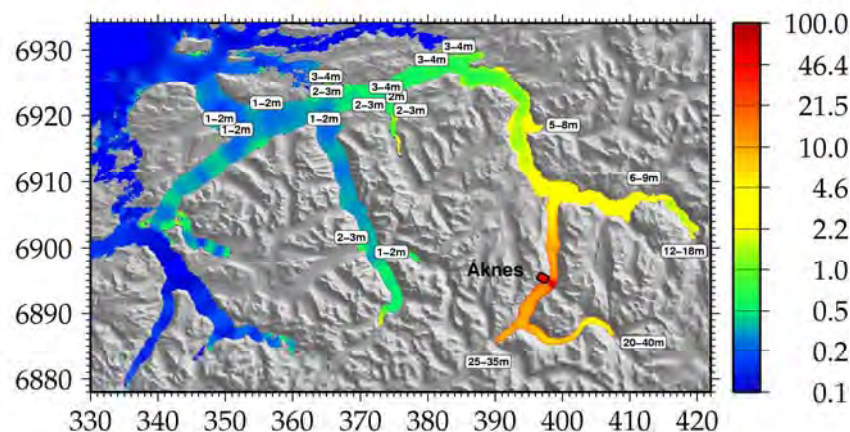


Figur 15: Innsjøer med høy relativ sannsynlighet for fjellskred som ut fra statistiske kriterier kan nå fram til og danne en flodbølge i hver av innsjøene, fra Romstad m.fl. (2009).

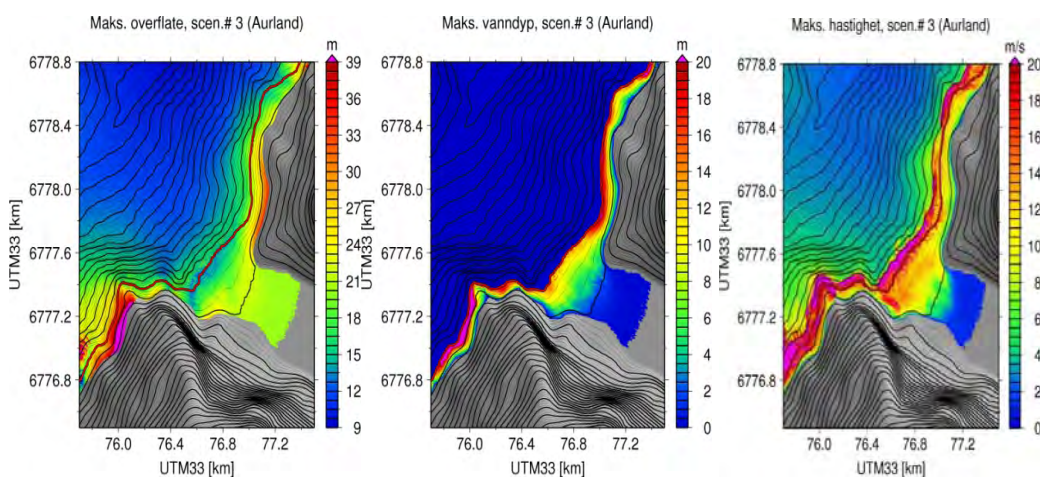
Beregning av oppskylling er regnetungt, og det må gjøres en avveining mellom omfang (areal, antall steder som skal vurderes) og detaljering. Dersom en er ute etter maksimalt vannivå langs en lengre kyststripe kan det være tilstrekkelig med grovere anslag av amplifikasjonsfaktorer basert på empiri eller beregninger langs idealiserte bunnprofiler. Det er da tilstrekkelig med kart/figur som viser maksimalt vannivå langs kyststripen for gitt(e) scenario(er) med tilhørende sannsynlighet(er), se figur 16.

Dersom man er ute etter strømningshastigheter, laster eller lignende i begrensede områder, må det først benyttes egne verktøy for detaljert beregning av oversvømmelse. For slike beregninger bør det også foretas en befaring på stedet. Kart/figurer må minimum vise vannivå og strømningsdybde (og dermed oversvømmelseslengde og oppskyllingshøyder) for gitte scenarioer med tilhørende sannsynligheter. For vurdering av skråningsstabilitet, beregning av laster eller lignende må også strømhastigheter og bølgeperioder fremkomme. Anbefalt skala på kartene er 1:5 000 – 1:50 000.

Ved beregning av dimensjonerende laster kan det videre benyttes empiriske og analytiske metoder for beregning av viskøse krefter og treghetskrefter (basert på de beregnede hastighetene beskrevet over), eller numeriske simuleringer av disse kreftene på konstruksjoner. Valg av metode må begrunnes ut fra konstruksjonens kompleksitet og betydning.



Figur 16: Eksempel på beregning av maksimal overflatehevning (m) i fjorden og maksimalt vannivå langs land for en flodbølge generert av et skred med gitt volum, hastighet og tilhørende sannsynlighet. Distanse på aksene i kilometer.

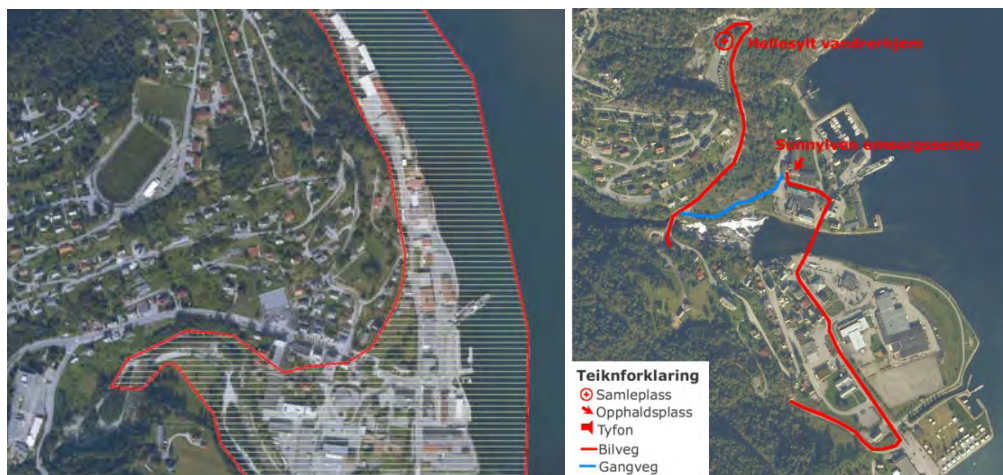


Figur 17: Eksempel på detaljert beregning av vannivå (til venstre), strømningsdybde (i midten) og strømhastighet (til høyre) ved oversvømmelse for en flodbølge generert av et skred med gitt volum, hastighet og tilhørende sannsynlighet.

Sikringstiltak

Der flodbølger vil ha begrensede oppskyllingshøyder kan det være aktuelt med voller som hindrer oversvømmelse av bebyggelse. Også bygningsmessige forsterkninger og tilpasninger som skal hindre kollaps og fare for menneskeliv kan være aktuelt.

Ved store oppskyllingshøyder er det praktisk og økonomisk umulig å gjennomføre fysiske sikringstiltak. Derfor er overvåking og varsling basert på målinger av bevegelser i det aktuelle skredområdet, og beredskapsopplegg for evakuering for å redusere faren for tap av menneskeliv, det mest aktuelle forebyggende tiltaket.



Figur 18: Eksempel på beredskapskart for flodbølger i Sunnysfjorden etter mulig fjellskred fra Åkneset, Stranda. Venstre: Stranda sentrum med faresone opp til 10 m.o.h.; høyre: Hellesylt sentrum. Produsert av Åknes/Tafford-prosjektet.



Figur 19: Sikringsvoll mot flodbølger i Årdalsvatn (øverst) med åpning for tilgang til vannet (Foto: Årdal kommune).

9 Referanser

- Christen, M., Bartelt, P. og Gruber, U. 2002: Aval-1: An avalanche dynamics program for the practice. International Congress INTERPRAEVENT 2002 in the Pacific Rim – MATSUMOTO / JAPAN Congress publication, vol. 2, 715-725.
- Christen, M., Bartelt, P. og Gruber, U. 2005: Numerical calculation of snow avalanche run-out distances. Computing in Civil Engineering, Proceedings of the 2005 International Conference, July 12–15 2005, Cancun Mexico.
- Jóhannesson, T., Gauer, P., Issler, D. og Lied, K. (eds) 2009: The design of avalanche protection dams — Recent practical and theoretical developments. European Commission, Directorate-General for Research Communication Unit. Climate Change and Natural Hazard Research – Series 2. Project Report EUR 23339. ISBN 978-92-79-08885-8.
- Keylock, C. og Domaas, U. 1999: Evaluation of Topographic Models of Rockfall Travel Distance for Use in Hazard Applications. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 31, No 3. 312 – 320.
- Lied, K. og Bakkehøi, S. 1980: Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. J. of Glaciology Vol 26 No 94.
- NGI 1994: Geometrical methods of calculating rockfall range. NGI rapport 585910-1.
- NGI 1998: A survey of computational models for snow avalanche motion. Deliverable No. 4 of the EU Programme SAME. NGI rapport 581220-1.
- NGI 2007: Rock slide dynamics — Evaluation of existing numerical models for gravity mass flows. NGI rapport 20071268-1.
- NGI 2008: Operational tsunami models with run-up. NGI rapport 20061073-1.
- NGU 1990, 1986-1987, 1999, 1996: Kvartærgeologiske kart
- Norem, H., Irgens, F. og Schieldrop, B. 1987: A continuum model for calculating snow avalanche velocities. Proceedings of Avalanche Formation, Movements and Effects, Davos 1986, IAHS publication 162, 363-378.
- Perla, R.I., Cheng, T.T. og McClung, D.M. 1980: A Two-Parameter Model of snow-Avalanche Motion. Journal of Glaciology Vol. 26, No. 94, 197-207.
- Picarelli L., Oboni F., Evans S.G., Mostyn G., Fell R., 2005. Hazard characterization and quantification. In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E. (Eds.), Landslide Risk Management. Taylor and Francis, London, pp. 27–61.
- Romstad, B., Harbitz, C. og Domaas, U. 2009: A GIS method for assessment of rock slide tsunami hazard in all Norwegian lakes and reservoirs. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1–13.