Sikkerhet mot skred i bratt terreng

Kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak

8
2014

VEILEDER

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Sikkerhet mot skred i bratt terreng

Kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak

Norges vassdrags- og energidirektorat
2014

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Veileder nr. 8 - 2014

Sikkerhet mot skred i bratt terreng

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Steinar Schanche

ISSN: 1501 – 0678

Forsidefoto: Andrea Taurisano, NVE

Opplag: Nett-publikasjon, www.nve.no/arealplan

Sammendrag: Veilederen beskriver grunnlagsmateriale, metode og vurderingstemaer for kartlegging av skredtyper i bratt terreng (snøskred, sørpeskred, jordskred, flomskred, steinsprang og steinskred) samt fjellskred og skredgenererte flodbølger. Veilederen er først og fremst myntet på kartlegging i forbindelse med arealplanlegging. Veilederen beskriver hva som bør dokumenteres og rapporteres for slik kartlegging, på kommuneplan-, reguleringsplan- og byggesaksnivå.

Emneord: Skredfarekartlegging, arealplanlegging, aktsomhetskart, faresonekart.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

Mai 2014

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Innhold

Forord **7**

1 Innledning **9**

2 Typer av skredfarekart **9**
2.1 Hendelseskart 9
2.2 Aktsomhetskart 9
2.3 Faresonekart 10
2.4 Risikokart 10

3 Grunnlagsmateriale for kartlegging av skredfare **11**

4 Metode for kartlegging av skredfare **13**
4.1 Fremgangsmåte 13
4.2 Vurdering av skredsannsynligheter 14
4.3 Bruk av beregningsverktøy 15

5 Kartlegging på kommuneplannivå **16**
5.1 Hensikt 16
5.2 Identifisering og avgrensning av aktsomhetsområder 16
5.3 Leveranser 17

6 Kartlegging på reguleringsplannivå **18**
6.1 Hensikt 18
6.2 Leveranser 18

7 Vurderinger på byggesaksnivå **19**
7.1 Hensikt 19
7.2 Når trenges vurdering på byggesaksnivå? 19
7.3 Planlegging av sikringstiltak 19

8 Utredning av skredfare for de enkelte skredtyper **20**
8.1 Generelt 20
8.2 Snøskred 21
8.3 Sørpeskred 25
8.4 Jordskred 27
8.5 Flomskred 30
8.6 Steinsprang og steinskred 32
8.7 Fjellskred 37
8.8 Skredgenererte flodbølger 39

9 Referanser **44**

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Forord

Denne veilederen er en revidert utgave av veilederen med tittelen ”*Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner*”, tidligere et vedlegg til NVEs retningslinjer ”*Flaum- og skredfare i arealplanar*”. Veilederen har nå fått ny tittel og utgis som et eget dokument. Det er gjort flere endringer, tilføyelser og presiseringer i forhold til den første utgaven som ble publisert i april 2010. Blant annet er det tatt hensyn til at det i mai 2014 er publisert nytt, landsdekkende aktsomhetskart for jord- og flomskred. Det er også vist til annen ny kunnskap som er kommet til siden 2010.

NGI har bidratt både i utformingen av den første og nå den reviderte utgaven av veilederen.

Veilederen er først og fremst myntet på konsulenter som tar oppdrag med utredning av skredfare for private tiltakshavere eller kommuner. Også bestillere av slike oppdrag vil ha nytte av den.

Veilederen utdyper NVEs retningslinjer ”*Flaum- og skredfare i arealplanar*” for temaet skred.

Oslo, mai 2014

Anne Britt Leifseth
avdelingsdirektør

Steinar Schanche
seksjonssjef

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

1 Innledning

Veilederen beskriver kartlegging av skredfare for ulike skredtyper i bratt terreng i forbindelse med arealplanlegging og byggesaksbehandling. Det er lagt vekt på at veilederen skal være tilpasset behovet for utredning av skredfare på de ulike plannivåene etter plan- og bygningsloven, med tanke på at ny utbygging skal tilfredsstille sikkerhetskravene i byggteknisk forskrift (TEK 10). Veilederen utdyper NVEs retningslinjer ”*Flom- og skredfare i arealplaner*” for temaet skredfare. Sikringstiltak mot skred er omtalt kort, men veilederen gir ikke detaljert beskrivelse av prosjektering av tiltak.

Målgruppen for veilederen er først og fremst konsulenter som tar på seg kartleggings-oppdrag for kommunene og private utbyggere. Også kommuner og andre som bestiller slike oppdrag vil ha nytte av veilederen.

Veilederen gjelder i fare knyttet til naturlige prosesser og naturlig terreng. Fare knyttet til byggegroper, skjæringer, fyllinger, fundamentering og andre tiltak knyttet til byggetomter og anlegg må prosjekteres i samsvar med gjeldende norske standarder. Dette er ikke omtalt i veilederen. Når slike tiltak kan gi økt skredfare i omkringliggende områder, må faren utredes og forebygges.

Veilederen omhandler ikke kartlegging av fare for kvikkleireskred eller lignende skred i materialer med sprøbruddegenskaper. Dette er beskrevet i veilederen *”Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper”* (NVE-veileder 7/2012).

2 Typer av skredfarekart

2.1 Hendelseskart

Hendelseskart viser historiske 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 (for eksempel trykk, hastighet og skader).

2.2 Aktsomhetskart

Aktsomhetskart viser *potensielle* løsneområder og utløpsområder for skred. Kartene gir ikke opplysninger om skredsannsynlighet. Aktsomhetskart kan ha ulik detaljeringsgrad, avhengig av hvilke metoder og ressurser som er nyttet i kartleggingen. Dess grovere aktsomhetskartet er, dess større utstrekning har normalt aktsomhetsområdene. Nøyere kartlegging vil derfor vanligvis redusere aktsomhetsområdenes utstrekning.

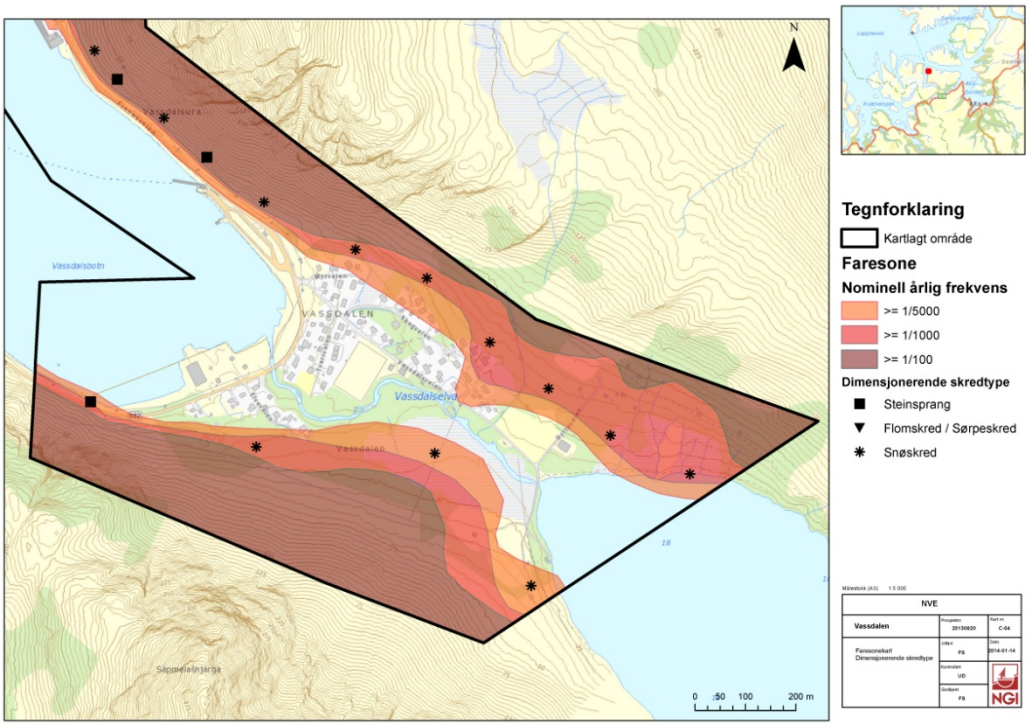
I dag finnes det landsdekkende aktsomhetskart for snøskred, steinsprang og jord- og flomskred. Nærmere omtale av dem er gitt på skrednett.no. For deler av landet finnes det eldre snø- og steinskredkart utarbeidet av NGI. Ved utarbeidelse av disse kartene er det foruten bruk av modeller, gjort befaringer av erfarne faglig sakkyndige. Ved avgrensning av

Utgått
Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

aktsomhetsområdene er sannsynlig skredutløp vurdert i forhold til lokale terrengforhold, skogdekke og andre lokale faktorer. Aktsomhetsområdene på disse kartene har derfor som hovedregel noe mindre utstrekning enn aktsomhetsområdene på de landsdekkende snøskredkartene. NGIs kart kan brukes til å avgrense aktsomhetsområder for snøskred i stedet for de nasjonalt dekkende aktsomhetskartene.

2.3 Faresonekart

På faresonekart er skredfaren kartlagt detaljert, og skredfaren er kvantifisert ved årlig sannsynlighet. En faresone viser rekkevidden for skred med en bestemt sannsynlighet, vanligvis med de sannsynligheter som er gitt i sikkerhetskravene i TEK10.



Figur 1: Faresonekart for Vassbotn, Loppa kommune. Kartet viser utstrekning av faresoner for skred med ulike årlige sannsynligheter, og hvilken skredtype som er dimensjonerende i de ulike delene av det kartlagte området.

2.4 Risikokart

Et risikokart angir soner som kombinerer informasjon om sannsynligheten fra et faresonekart med en analyse av mulige konsekvenser (tap av menneskeliv, materielle skader mv.) Ofte lages risikokart som kun graderer risikoen i klasser, fra høy til lav risiko. Risikokart nyttes i beredskapsplanlegging og til prioritering av sikringstiltak for eksisterende bebyggelse.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

3 Grunnlagsmateriale for kartlegging av skredfare

Aktsomhetskart, faresonekart og hendelseskart
Aktsomhetskart og faresonekart kan være både produkter av kartlegging og grunnlagsmateriale for videre kartlegging av skredfare.

Topografiske kart og digitale terrengmodeller
Topografiske kart gir informasjon om terrenghelning og terrengformer. Landsdekkende digital terrengmodell med 10 x 10 meter grid, er laget ut fra 1 meterskoter samt høyde på senterlinje vei. For områder i høyereliggende områder finnes kun 20 meters koter. Terrengmodellen er brukt som grunnlag for det nye jord- og flomskred aktsomhetskartet.

Tidligere landsdekkende terrengmodell med 25 x 25 meter grid, basert på 20 meters koter, er brukt som grunnlag for de landsdekkende aktsomhetskartene for snøskred og steinsprang.

Detaljerte digitale terrengmodeller anbefales til bruk i faresonekartlegging. Det kan bl.a. lages helningskart som er et viktig grunnlag for å identifisere mulig skredfareterreng. Detaljert terrengmodell brukes til GIS-analyser for beregning av utbredelse av faresoner mv.

Statens kartverk har forvaltningsansvar for innhenting og forvaltning av situasjonsdata og høydegrunnlag. Kommunene og statlige etater er part i Norge Digitalt, der også ulike temadata rapporteres inn. 1 meters- og 5 meterskoter finnes digitalt for de fleste tettsteder og byer.

Gjennom Geovekst-samarbeidet er en god del områder i Norge laserskannet. Laser-dataene finnes som punkter, ofte med en tetthet på 0,7 - 2 pkt/m^2 (terrengnivå og overflate). Det anbefales å lage detaljerte terrengmodeller basert på punktdataene fra laser og ikke fra avledete genererte 1-meterskoter.

Landsdekkende terrengmodell er tilgjengelig for alle. For tilgang på detaljerte digitale terrengdata kan konsulenter inngå avtale om bruk av data til aktuelt oppdrag med oppdragsgiver.

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 relevante for vurdering av stabiliteten av en bergskrent. Berggrunnskart i ulike målestokker er tilgengelig gjennom NGUs digitale kartdatabase www.ngu.no.

Kvartærgeologiske kart
Kvartærgeologiske kart gir informasjon om type og mektighet av løsmassene og overflateformer (blant annet skredavsetninger og skredbaner). Type løsmasser gir

Utgått
Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

indikasjon om stabiliteten. Stor løsmassetykkelse indikerer mulighet for store skred med lengre utløp. Følgende kart er tilgjenglige:

- 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 kart i målestokk 1:20 000.
- 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

Det finnes ingen komplett, samlet oversikt over alle skredhendelser. En del historiske skredhendelser er registrert i den nasjonale skredhendelsesdatabase og er tilgjengelige på www.skrednett.no. Informasjon om hendelser finnes i mange bygdebøker, kirkebøker o.l.

Klimatologiske data

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

Eksisterende skredfareutredninger

Tidligere skredfarekartlegging i eller inntil de samme områder som skal kartlegges er nyttig bakgrunnsmateriale.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

4 Metode for kartlegging av skredfare

4.1 Fremgangsmåte

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

Fremgangsmåten i dette kapitlet gjelder utredning helt fram til avgrensning av faresoner. Utredning av aktsomhetsområder omfatter bare deler av dette, og er omtalt særskilt i kapittel 5.

Skredfarekartlegging kan deles inn i følgende trinn:

1. Fastsettelse av detaljerningsgrad og omfang for utredningen. Dette må være avklart med oppdragsgiver og avstemt etter formålet med utredningen.

2. Innsamling og gjennomgang av eksisterende grunnlagsdata med sikte på å identifisere potensielle fareområder (løsne- og utløpsområder) for ulike typer skred. Gjennomgangen baseres 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 basert på flybildetolkning).

3. Utarbeidelse av helningskart for vurdering av kildeområder for skredtyper som skal kartlegges. Ved utarbeidelse av helningskart skal den beste tilgjengelige terreng-modellen/kartgrunnlaget benyttes.

4. 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 av både av ønsket detaljeringsgrad og kvaliteten på eksisterende data for området. En viktig del av feltarbeidet er å kartlegge spor etter tidligere skredhendelser (både løsneområder, skredbaner og skredavsetninger), og å undersøke forhold som har betydning for skredutløsning og rekkevidde (beskrevet nærmere i omtalen av hver skredtype i kapittel 8).

   Observasjoner av løsneområder som ikke er tilgjengelige eller mulig å observere på andre måter, kan skje ved bruk av GigaPan-bilder, helikopter eller fjernstyrt helikopter.

   Dersom det ikke finnes terrengmodeller med detaljerte høydedata for området kan det være nødvendig med målinger med sikte på å få nøyaktige tverr- og lengde-profiler av terrenget. Grunnundersøkelser (f.eks. graving av prøvegroper) er noen ganger nødvendig bl.a. for å få kunnskap om antall jord- og flomskredavsetninger i et avsetningsområde.

   Alle feltobservasjoner som har betydning for vurdering av skredfaren registres i et registreringskart. Geologiske/geomorfologiske tolkninger fra laserskannede data og historiske skredhendelser inkluderes i registreringskartet. Registreringskartet skal inngå som en del av rapporten.

5. Statistisk analyse av klimatiske forhold som har betydning for de aktuelle skredprosessene:

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

- Nedbør (års- og månedsgjennomsnitt, maksimal observert døgnnedbør, ekstreme døgnnedbørsverdier ved de relevante gjentaksintervaller).
- Snøhøyde (månedsgjennomsnitt, maksimalt observert snøhøyde).
- Vind (hastighet og retning, nedbørførende vindretning).
- Temperatur (både i løsne- og utløpsområdet).

Hovedfokuset ved klimaanalysen vil være å anslå verdier som definerer skred-utløsende værforhold med gjentaksintervall på 100, 1000 og om mulig 5000 år. Dette gjelder spesielt ekstremnedbør, som er særlig nyttig inputdata i forbindelse med modellering av prosessene.

Som en del av NIFS, et samarbeidsprosjekt mellom NVE, Statens vegvesen og Jernbaneverket, er det nylig utarbeidet en veileder for beregning av ekstremverdier av nedbør for gitte gjentaksintervaller (Regulina (red.) 2014). Veilederen gjør ekstremnedbørsanalyser tilgjengelige for ikke-statistikere.

Fjellsidens eksposisjon i forhold til nedbørførende vind og tilfangsarealet for snødrift har stor betydning for snømengdene i løsneområdet og må derfor vurderes og diskuteres som en del av forholdene som gir fare for snøskred.

6. Dersom skog anses å ha merkbar skreddempende virkning for utløsning og/eller utløp av skred i det aktuelle område, skal dette undersøkes, vurderes og begrunnes. NVE i samarbeid med NGI gjennomfører et prosjekt som skal gi økt kunnskap om dette. Prosjektet vil være ferdig i løpet av sommeren 2014. Foreløpige resultater er gitt i NGI-rapporten Høydal (red.) 2013.

7. Vurdering av utløpsdistanse for aktuelle skredtyper med ulike årlige sannsynligheter, vanligvis de sannsynligheter som er gitt i TEK10. Beregningsverktøy nyttes til hjelp i vurderingen av utløpsdistanse ved ulike skredsannsynligheter, se kapittel 4.2 og 4.3.

8. Til slutt foretas en samlet vurdering av utløpsdistanse/størrelse for den samlede skredfaren med de gitte, årlige sannsynligheter, se kapittel 4.2. Fastsettelse av faresoner med ulik sannsynlighet må til syvende og sist skje ved et faglig skjønn. I kapittel 6 er leveransen fra kartleggingen nærmere beskrevet.

4.2 Vurdering av skredsannsynligheter

Grensa for skred med gitte årlige sannsynligheter baseres på vurdering av sannsynligheten for utløsing av skred og sannsynlig rekkevidde av skred. Følgende vurderinger må inngå:

- Identifisering av utløsningsområder og vurdering av størrelse (areal/volum på materiale som kan løsne) på skred med årlige sannsynligheter gitt i sikkerhetsklassene i TEK10 (1/100, 1/1000 og 1/5000), basert på topografiske, geologiske, geotekniske og klimatiske faktorer.
- Identifisering av skredbaner og beregning/vurdering og endelig bestemmelse av rekkevidden for skred med disse størrelsene, basert på tidligere skredhendelser, spor i terrenget, bruk av relevante beregningsverktøy og faglig skjønn basert på erfaring.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Ved vurdering av behov for sikring av *eksisterende* bebyggelse kan det også være av interesse å finne faresoner for skred med andre sannsynligheter, f.eks. 1/300. Dette avklares med oppdragsgiver. Kartlegging for å vurdere sikring av eksisterende bebyggelse er ikke nærmere omtalt i denne veilederen.

Verktøy for beregning av rekkevidde må justeres i forhold til terreng- og klimaforhold, se kapittel 4.3.

Det finnes en rekke metoder som er til hjelp for å anslå skredsannsynlighet fra ulike sett av informasjon, se f.eks. Picarelli m.fl. (2005).

Faresonene skal til slutt vise den samlede skredfaren for alle aktuelle skredtyper i området. Strengt tatt er det summen av sannsynligheten for skader fra samtlige skredtyper som skal kartlegges. Som regel vil en kunne avgrense faresonene etter den dimensjonerende skredtypen (dvs. den med størst rekkevidde og skadepotensial) i området, ev. i ulike deler av området. Der det er liten forskjell i rekkevidden mellom dimensjonerende skredtype og andre skredtyper, må en justere grensa slik at grensa for de endelige faresonene er basert på en vurdering av den samlede skredfaren (summen av sannsynlighetene for aktuelle skredtyper). Dette gjelder særlig der faresonene berører eksisterende eller planlagt bebyggelse.

4.3 Bruk av beregningsverktøy

Det finnes en rekke verktøy til beregning av dynamikk og rekkevidde av skred. Aktuelle verktøy er nevnt i omtalen av de enkelte skredtyper i kapittel 8. Beregningsverktøyene bør bare benyttes som supplement til feltobservasjoner og erfaring.

Ved bruk av beregningsverktøy må det dokumenteres hvilke parametre som er brukt (etterprøvbarhet) og hvorfor parametersettet er valgt. Usikkerheten i resultatene som følge av usikkerheter i inngangsparametre og beregningsmetoder bør kommenteres.

Ved bruk av empiriske modeller må en påse at modellen passer for det aktuelle området/det aktuelle skredet (f.eks. størrelse og terrengform).

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

5 Kartlegging på kommuneplannivå

5.1 Hensikt

Hensikten er normalt å identifisere og avgrense aktsomhetsområder (potensielle fareområder). På kommuneplannivå er det i utgangspunktet ikke nødvendig med en nærmere kvantifisering av faregraden (som i faresonekart), dersom kommunen ikke ber spesielt om dette.

Ved skredfaglig utredning i forbindelse med kommuneplan, forutsettes det at oppgaven både er å sy sammen opplysninger fra eksisterende aktsomhets- og faresonekart, og å gjøre en kvalifisert vurdering og justering av grensene for aktsomhetsområdene på de eksisterende kartene, basert på tilgjengelige opplysninger og befaring. I tillegg bør en identifisere eventuelle potensielle aktsomhetsområder som kan ligge utenfor aktsomhetsområdene på de eksisterende kartene.

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 aktsomhetskartene. På denne måten vil man unngå en rekke unødige enkeltvurderinger på de senere plannivåene.

5.2 Identifisering og avgrensning av aktsomhetsområder

De landsdekkende aktsomhetskartene for snøskred, steinsprang og jord- og flomskred nyttes for en første identifisering og avgrensning av aktsomhetsområder for disse skred-typene. Høydemodellen som er nyttet for generering av aktsomhetskartene for steinsprang og snøskred fanger imidlertid ikke opp isolerte skrenter på under 30 - 50 m høyde.

I tillegg kan en bruke NGIs eldre snø- og steinskredkart i vurderingsgrunnlaget. Dersom deler av planområdet dekkes av eksisterende, detaljerte faresonekart vil også de være en del av vurderingsgrunnlaget. En må imidlertid være oppmerksom på at mange av de eksisterende faresonekartene bare dekker skred med sannsynlighet ned til 1:1000.

Det finnes ikke aktsomhetskart for sørpeskred. Sørpeskred følger vanligvis de samme baner som flomskred. På kommuneplannivå aksepteres det å forutsette at aktsomhetskartene for jord- og flomskred også dekker aktsomhetsområder for sørpeskred.

Det landsdekkende aktsomhetskartet for jord- og flomskred får med seg de fleste skredviftene som kan dannes av slike skred. Deler av større skredvifter med liten helning kan imidlertid falle utenfor. En bør derfor se over utløpsområdene (nedre del av aktsomhetsområdet, der terrenget flater ut) for å avdekke skredvifteformer som det landsdekkende aktsomhetskartet fanger godt nok opp. NVEs faktaark 2-2013 ”*Identifisering av skredvifter*” beskriver hvordan en kan identifisere og avgrense skredvifter knyttet til flomskred. For skredvifter må hele skredvifta i utgangspunktet regnes som aktsomhetsområde, dersom det ikke er utført sikring (skredvoller) som vil lede eller stoppe skredmassene.

Sonene på et aktsomhetskart skal ha såpass store sikkerhetsmarginer at de dekker alle potensielle fareområder for den eller de aktuelle skredtypene kartleggingen omfatter. Som

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

regel kan utstrekningen av aktsomhetsområdene på de nasjonale kartene innskrenkes ved mer detaljerte undersøkelser. Dette inkluderer feltbefaringer der en vurderer topografi, eventuelle utførte sikringstiltak, vegetasjon, klima, bygg og andre konstruksjoner som bidrar til å stoppe eller lede skredmasser, og andre forhold som påvirker utløsning eller utstrekning av skred.

5.3 Leveranser

Undersøkelsene på kommuneplannivå bør som et minimum omfatte:

- Innsamling av data fra eksisterende aktsomhetskart, faresonekart og opplysninger om historiske skred.
- Kartanalyse basert på kart i målestokk 1:50 000 utført med bruk av terrengmodell (GIS) og flybildestudier.
- Feltbefaringer i de nedre delene av fjellsider med skredfare.

Leveransen bør inneholde følgende dokumentasjon:

- Formål med kartleggingen, herunder opplysning om detaljeringsnivå.
- Kart, bilder og geografisk beskrivelse av studieområdet.
- Omtale av skredtyper som er relevante, med begrunnelse.
- Beskrivelse av hva som er gjort av feltbefaringer.
- Hvilke metoder som er benyttet for å identifisere og avgrense aktsomhetsområdene.
- Kart som viser ustrekning av aktsomhetsområder, med kommentarer/begrunnelse. Kartet bør leveres i digitalt format (sosi eller shape-format).
- Presisering av eventuelle forutsetninger som gjelder for avgrensning av aktsomhets-områdene, f.eks. bevaring av skog. Det skal fremgå hvilke områder der slike forutsetninger gjelder.

Kartet skal som et minimum vise utstrekningen av aktsomhetsområder for den samlede, potensielle skredfaren for alle relevante skredtyper. Det er ikke nødvendig å vise aktsomhetsområder for hver skredtype, dersom oppdragsgiver ikke har bedt om dette spesielt.

Utstrekningen av aktsomhetsområdene i de ulike delområder vil som regel være bestemt av en dominerende skredtype. Når ulike skredtyper er dimensjonerende i de ulike deler av planområder, skal det fremgå hvilken skredtype som er dimensjonerende innenfor hvert delområde, f.eks. ved bruk av symboler som vist i fig.1.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

6 Kartlegging på reguleringsplannivå

6.1 Hensikt

På reguleringsplannivå er målet normalt å kartlegge faresoner med de sannsynligheter som er gitt i sikkerhetsklassene TEK10.

6.2 Leveranser

Metode for kartlegging er beskrevet i kapittel 4. Leveransen skal inneholde følgende dokumentasjon:

- Beskrivelse av topografi, vegetasjon, hydrologi og klima som har betydning for skredfaren.
- Registreringskart, se kapittel 4.1.
- Helningskart med avgrensning av kildeområdene for de aktuelle skredprosessene.
- Beskrivelse av hva som er utført av feltbefaringer og ev. grunnundersøkelser.
- Beskrivelse av beregningsverktøy som er nyttet og resultatene fra beregningene, inkl. begrunnelse for aktuelle parametervalg.
- Kart som viser faresoner med de nominelle gjennomsnittlige årlige skredsannsynligheter gitt i sikkerhetsnivåene i TEK10. Faresonene for skred med de ulike sannsynligheter gis ulik farge, se fig. 1. Kartet bør leveres i digitalt format (sosi/shape), i tillegg til papirutskrift.
- Beskrivelse av aktuelle sikringstiltak dersom det planlegges utbygging innenfor fareområdene.
- Presisering av eventuelle forutsetninger for avgrensning av faresonene, f.eks. bevaring av skog.

I rapporten må en dokumentere at alle skredtyper er vurdert. Det endelige faresonekartet skal vise faresoner for den samlede skredfaren for alle relevante skredtyper. Dersom ulike skredtyper er dimensjonerende i ulike deler av planområdet, må det fremgå hvilken skredtype som er dimensjonerende innenfor hvert delområde, f.eks. ved bruk av symboler som vist i fig.1.

Særlig der andre skredtyper enn dimensjonerende skredtype kan utgjøre fare for eksisterende bebyggelse, bør også faresoner for ikke-dimensjonerende skredtyper leveres som egne kartvedlegg. Dette avklares med oppdragsgiver.

I tilfeller der reguleringsplanen bare omfatter tiltak i f.eks. i sikkerhetsklasse S2 i TEK10 (årlig skredsannsynlighet 1/1000), er det ikke nødvendig å finne grensa for skred i sikkerhetsklasse S3 (årlig skredsannsynlighet 1/5000). I de tilfeller der en tidlig kan avklare at ny bebyggelse vil ligge klart utenfor faresoner, vil det være tilstrekkelig med en forenklet leveranse der dette begrunnes, uten faresonekart.

Dersom planlagt utbygging ikke tilfredsstiller sikkerhetskravene, vil det være behov for sikringstiltak for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet. Aktuelle tiltak bør da skisseres, og muligheten for å gjennomføre tiltakene innenfor akseptable kostnader bør vurderes.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Videre bør mulige virkninger av sikringstiltak i form av økt fare for skade i tilgrensende områder beskrives.

For arealkrevende sikringstiltak som f.eks. skredvoller, bør plassering og omfang av tiltaket skisseres på kart. Detaljert prosjektering av sikringstiltak skjer på byggesaksnivå.

Et eksempel på rapport fra faresonekartlegging for et større område utført på oppdrag fra NVE er gitt i NGI (2014).

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 TEK10, ev. hvilke sikringstiltak som må gjennomføres for å tilfredsstille kravene.

7.2 Når trenges vurdering på byggesaksnivå?

Dersom byggetomta ligger utenfor regulert område og skredfaren derfor ikke er kartlagt tidligere, må skredfaren kartlegges på samme måte som beskrevet i kapittel 4 og 6. Det samme gjelder dersom tomta ligger innenfor en reguleringsplan som ikke er tilstrekkelig 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 den behandler byggesøknader.

7.3 Planlegging av sikringstiltak

Som hovedregel bør bygging i skredutsatte områder unngås, bl.a. fordi dimensjonering av sikringstiltak er basert på beregningsverktøy som er beheftet med usikkerhet. Dersom det likevel planlegges utbygging i områder som ikke tilfredsstiller kravene til sikkerhet i TEK10, må det gjennomføres sikringstiltak før utbygging.

Sikringstiltak skal gi byggeområdet tilfredsstillende sikkerhet mot alle relevante skredtyper i det aktuelle området. Det er derfor nødvendig å ha opplysninger om faresoner (og skredhyppighet) for alle skredtyper som kan utgjøre en fare i området.

Sikringstiltak utredes og prosjekteres av sakkyndig foretak godkjent for ansvarsrett. Prosjektering av sikringstiltak er ikke nærmere beskrevet i denne veilederen. Det er bare gitt en kort omtale av aktuelle sikringstiltak under beskrivelsen av hver skredtype i kapittel 8.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

8 Utredning av skredfare for de enkelte skredtyper

8.1 Generelt

Et *skred* er et naturfenomen der 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* og *fonn.* Disse ordene har ingen klare definisjoner, og betydningen kan variere med hvor i landet man er.

I de fleste områder med bratt terreng kan ofte flere av skredtypene 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 i kapittel 8.2 – 8.7. I kapittel 8.8 er det gitt en omtale av skredgenererte flodbølger.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

8.2 Snøskred

Snøskred deles gjerne inn i tre hovedtyper: Løssnøskred, flakskred og sørpeskred. Sørpeskred er omtalt separat i kapittel 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 *flakskred* 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. Flakskred kan bli flere kilometer brede og involvere enorme snømengder som ofte rekker helt ned i dalbunnen. Som regel er det flakskred som fører til dødsulykker og skader på bygninger.

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

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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/m^3.
- 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/m^3. Snøskyen kan i noen tilfeller fortsette tvers over dalbunnen. I flere tilfeller er det kjent at snøskyen 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 løsneområdet
Snøskred utløses vanligvis der terrenget er mellom 30º og 50º 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.

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 løsneområdet.
- 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 løsne- og utløpsområdet)

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

- Særlig barskog i løsneområdet kan bidra til å redusere mulighetene for utløsning av snøskred. Vi viser i denne sammenhengen til NVEs og NGIs samarbeidsprosjekt ”Skog og skred”. Prosjektet vil være ferdig i løpet av sommeren 2014. Foreløpige resultater er gitt i NGI-rapporten Høydal (red.) 2013.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Utløsningsprosesser

Det må som regel komme over 0,5 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 når vanligvis ut til en siktevinkel på 25-30°, i sjeldne tilfeller til en vinkel på 18-20°. Siktevinkel angir helningen på den rette linjen fra toppen av løsneområdet og ut til linja 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 løsneområdet 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 løsneområdet er større enn 100 m.
- Lengdeprofilets utseende. Glatte skredbaner uten markerte skrenter eller platåer 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 forsenkninger 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:

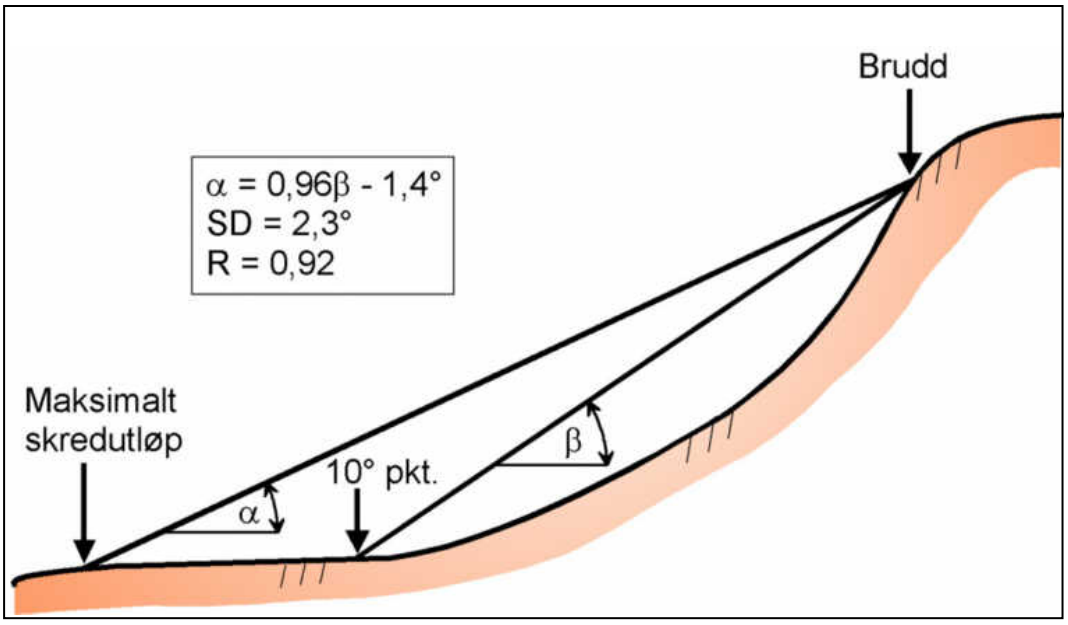
- Topografiske/statistiske modeller som tar utgangspunkt i kjente skredutløp (for historiske skred)
- Dynamiske modeller basert på fysiske og matematiske beskrivelser av skredbevegelsen.

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 løsneområdet 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. Tolkning av resultater fra modellen forutsetter lang erfaring med skred, da det vil være behov for

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

skjønnsmessige vurderinger for å avgjøre om skred går kortere eller lengre enn den middelverdien modellen angir.



Figur 3: Skisse som viser parametre i alfa/beta-modellen. SD er standardavvik, R er korrelasjonskoeffisient. Figuren er hentet fra Lied og Kristensen (2003).

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 fjellsiden for å redusere transporten av fokksnø ut i løsneområdet.
- Støtteforbygninger i løsneområdet for å forankre snødekket.
- Bremse-, lede- eller fangvoller i utløpsområdet, se Jóhannesson m.fl. (2009).

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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, f.eks. nysnø og grovkornet snø.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Utløsningsprosesser
Sørpeskred blir utløst enten ved kraftig regnvær eller ved intens snøsmelting. 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.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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 skredavsetninger. I de ikke-kanaliserte jordskredene beveger massene seg nedover langs en sone som kan bli gradvis bredere og bredere. Noen slike skred har en trekantform, mens andre er mer 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 løsneområdet

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

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

- Helning og terrengform. Helningen må være brattere enn 25-30°. 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 har betydning for både styrken og 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 som 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 utvasking i den øverste delen og utfelling lengre nede i jordprofilet. Utfellingslaget vil være tett med lav permeabilitet. Frostpåvirkning, uttørkning, 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.

Mange jordskred har blitt utløst som følge av menneskelige inngrep som skogsbilveger og hogst. 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. Ved detaljert skredfarekartlegging er det derfor viktig å kartlegge om det har vært foretatt inngrep som har påvirket drenerings- og/eller stabilitetsforholdene.

Vegetasjonens virkning på jordskred er beskrevet i NGI-rapporten Høydal (red.) 2013. Endelige resultater fra NVEs og NGIs samarbeidsprosjekt Skog og skred vil komme i løpet av sommeren 2014.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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 løsmassedekket 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.

Det er nødvendig å kartlegge alle skredavsetninger i avsetningsområdet, både med tanke på vurderinger av utløpsrekkevidde og skredfrekvens. Ofte vil en ha for få historiske hendelser med nøyaktig informasjon om kilde og utløpsområde til å få et godt bilde av tidligere aktivitet, og da blir geologiske data viktige. Ved å kartlegge den ytterste grensen for jordskredavsetninger vil en få et bilde på maksimal utløpsrekkevidde av de større partiklene i skredmassen (dog ikke de mest finkornete vannmettede delene).

For å få mer data om frekvenser for avgrensning av faresoner med ulike nominelle årlige sannsynligheter, kan det være nyttig å få informasjon om antall skredavsetninger i et avsetningsområde ved å gjøre undersøkelser av undergrunnen. Der det er mulig kan en grave groper i utvalgte punkter i utløpsområdet og telle antall jordskred/ flomskredlag avsatt etter siste deglasiasjon. Behovet for og nytteverdien av gravegroper eller eventuelle geofysiske undersøkelser bør vurderes.

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.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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/snøsmeltning. Flomskred opptrer hyppigst om høsten i forbindelse med kraftig regn, særlig langs vestkysten av Norge. I fjellområdene er det mest vanlig med flomskred på vårparten.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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, materialet i løpet er rensket fritt for mose og i tillegg er avrundet, kan dette tyde på skredaktivitet. Tungeformede rygger av løsmasser langs løpet (kalt lober) 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 (frekvenser).

For fastsetting av faresoner med ulike nominelle årlige sannsynligheter, kan det også for flomskred være nyttig å få informasjon om antall skredavsetninger i et avsetningsområde ved å gjøre tilsvarende grunnundersøkelser i utløpsområdet som nevnt under jordskred.

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, f.ek. terskler.
- Tiltak som kontrollerer sedimentasjonen og hindrer at løpene fylles på kritiske strekninger, f.eks. sedimentasjonsbasseng eller fangnett / -gjerder.
- Tiltak som leder skredmassene, f.eks. ledevoller og kanalisering.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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 m^3. Steinblokkene beveger seg nedover stort sett uavhengig av hverandre og forblir ofte intakte. Når steinmassene har et volum fra noen hundre til flere hundre tusen m^3, snakker vi om *steinskred.* I et steinskred splittes blokkene ofte opp i mindre deler på vei nedover 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

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.. 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 40-45º. 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 størrelse på og antall av løse steinblokker. Stabiliteten kan vurderes ut fra sprekkesystem, helning på glideplan, ruhet på sprekkeflatene, 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 sprekkene 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

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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.

Skog med en viss tretetthet og trestørrelse kan bidra til å bremse steinsprangblokker. På den annen side vil trær i løsneområdet kunne bidra til økt sjanse for utløsning av steinsprang. Skogens virkning på steinsprang er beskrevet i NGI-rapporten Høydal (red.) 2013. Endelige resultater fra NVEs og NGIs samarbeidsprosjekt Skog og skred vil komme i løpet av sommeren 2014.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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 steinblokkene. Ljøsne, Lærdal kommune i Sogn og Fjordane (Foto: NGI).

Beregningsverktøy

Programmer for å beregne stabiliteten av av enkeltblokker som glir ut er bl.a.: RocPlane (for plan utglidning) og Swedge (for kileutglidning). Begge programmer er tilgjengelige i markedet.

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

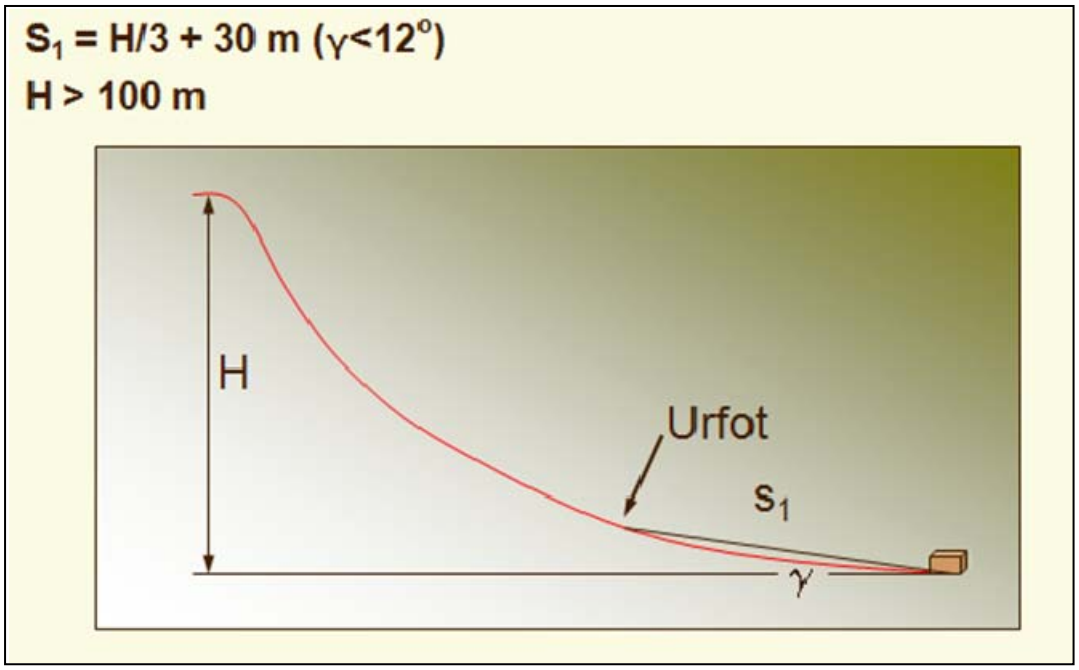
Rekkevidden av skred kan beregnes ved bruk av to typer modeller:

- 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 (Domaas (1994) og 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°) vil steinblokker kunne rulle lengre.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng



Figur 9: Prinsippskisse for estimering av rekkevidden til steinsprang. Figuren er hentet fra Domaas (1994).

De vanligste dynamiske modellene for beregning av rekkevidde er Rockfall og CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program). 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.

I skredfarekartleggingen i Loppa kommune har NGI nyttet 3D-modellen Rockyfor3D. Modellen er omtalt i rapporten fra kartleggingen (NGI (2014).

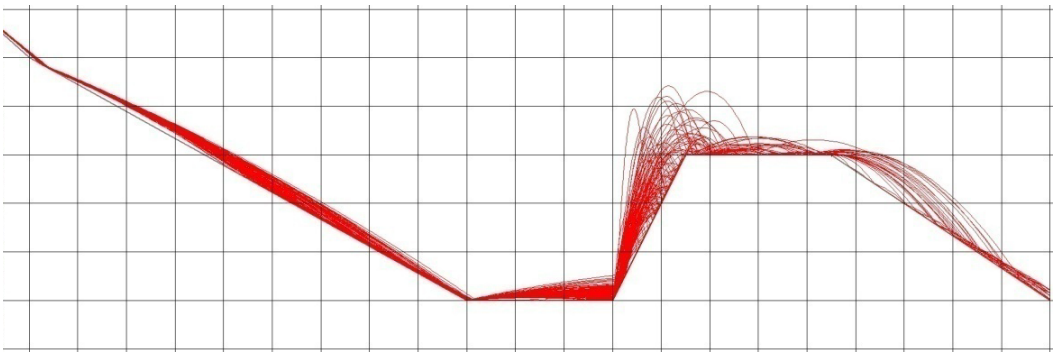
Sikringstiltak

Ustabile bergpartier kan sikres med bolter, nett og/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.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng



Figur 10: Detaljer av sprang (røde linjer) mot en fangvoll beregnet med Rocfallmodellen. Rutenettet er 10x10 cm^2, 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.

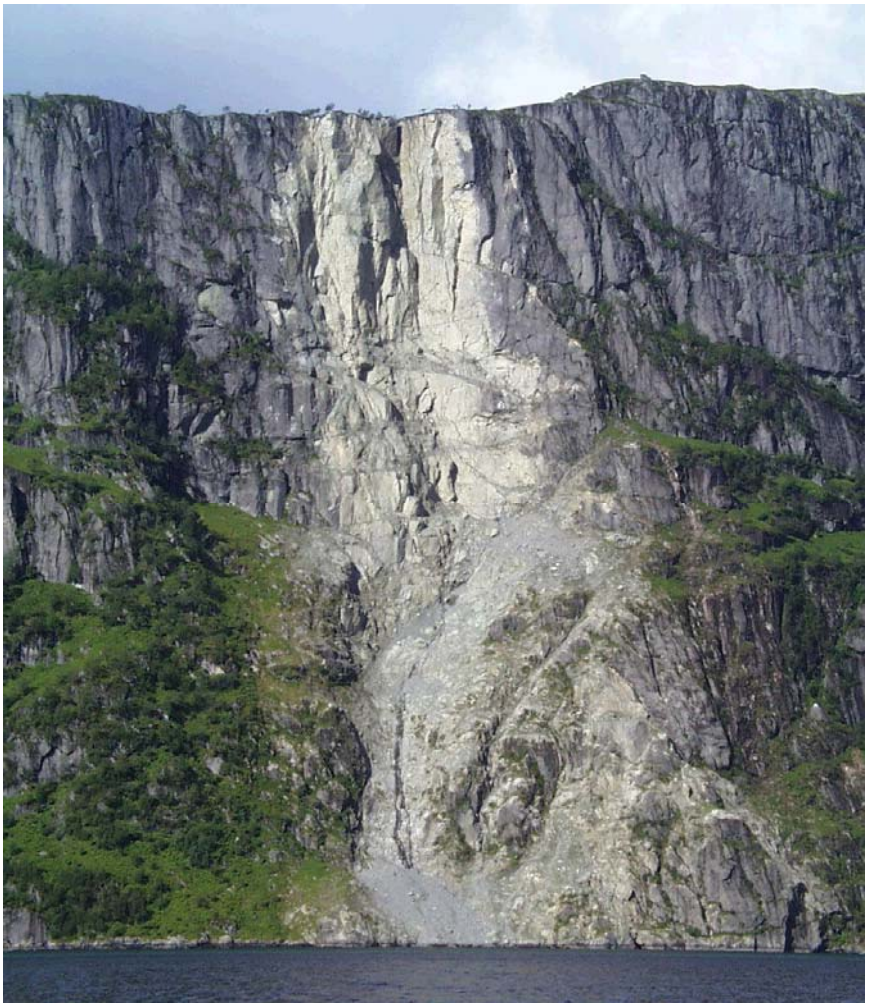
Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

8.7 Fjellskred

Vi bruker begrepet *fjellskred* om svært store skredhendelser der hundretusener til mange millioner m^3 steinmasse beveger seg hurtig ned en fjellside. Bevegelsene kan skje gjennom en kompleks kombinasjon av fall, glidning eller en rask strøm av masse. Underveis vil steinblokker splittes i mindre fragmenter, og skredmassene kan 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. m^3. Noen av de verste naturkatastrofene vi kjenner til i Norge er forårsaket av fjellskred som har generert flodbølger i fjord eller innsjø. De siste store fjellskredene var i Loen og Tafjord på 1930-tallet, der skredene utløste store flodbølger.



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. Konsekvensene kan bli mye større fordi store volumer er involvert og fordi de kan generere store flodbølger.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Kartlegging av fare for store fjellskred er svært kostnadskrevende og krever spesialkompetanse innen flere fagområder. NVE har ansvaret for en nasjonal kartlegging av ustabile fjellpartier der det kan være eller bli fare for fjellskred, og peke ut objekter som det må tas hensyn til i arealplanleggingen. 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 slik at det oppstår et ustabilt fjellparti. Ofte kan en observere sprekker utviklet over mange år. I noen tilfeller kan fjellpartiet stabilere seg og falle til ro i fjellsiden eller fortsette å sige sakte helt til det slår seg til ro i en dal- eller fjordbunn, uten at fjellskred utløses. Aksellerende bevegelser kan tyde på at et fjellskred kan være i ferd med å utløses.

Viktigste faktorer av betydning er styrke på bergarten, oppsprekkingsgrad, helning på og ruhet langs mulige glideplan, løst materiale på glideplan og vanntilgang.

Om det foregår eller har foregått 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, 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 store fjellskredobjekter er det vanligvis 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.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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 dette begrepet 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 og sannsynligheten for at skred med et visst volum og en viss hastighet når fram til vannet og genererer en viss initialbølge.

Det finnes gode beregningsverktøy for å beregne 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. Estimater av fremtidig havnivåstigning i norske kystkommuner*.” (Revidert utgave 2009). Rapporten er utgitt av

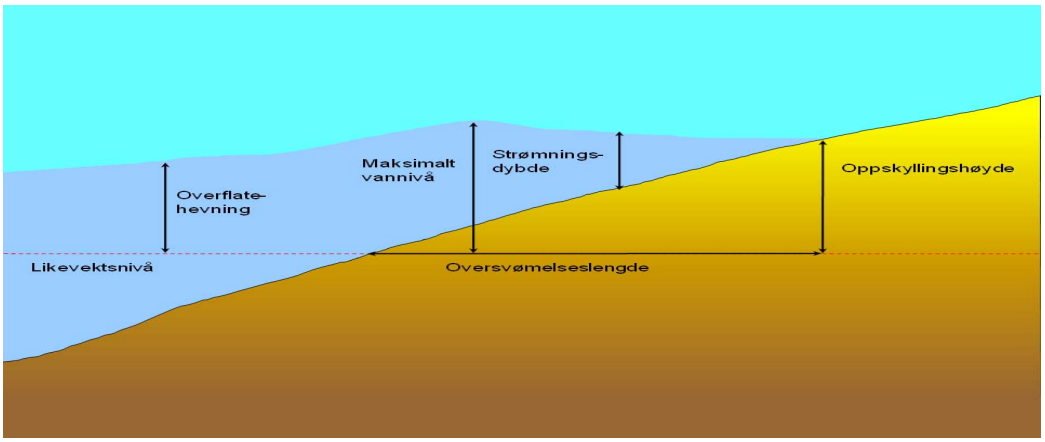
Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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.
- *Oversvømmelseshøyde (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 oppskyllings-området)
- 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 infrastruktur.

Utgått
Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Beregningsverktøy
Det finnes få beregningsverktøy for sammenheng mellom skredbevegelse og generering, utbredelse og oppskylling av flodbølger. Ett unntak er regnemodellen COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model). 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 m^3 kan løsne og i tillegg nå sjø eller innsjø. Slike kart er laget f.eks. 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.

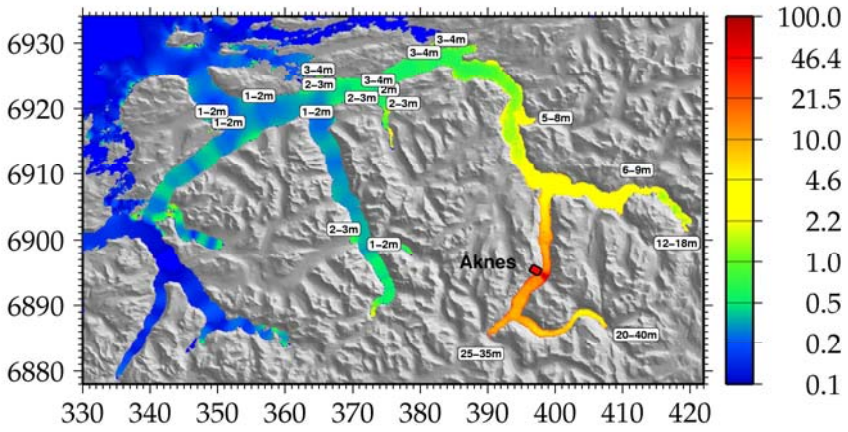
Beregning av oppskylling er regnetungt, og det må gjøres en avveining mellom omfang (areal, antall steder som skal vurderes) og detaljering. Dersom en er ute etter maksimalt vannivå langs en lengre kyststripe kan det være tilstrekkelig med grovere anslag av amplifikasjonsfaktorer basert på empiri eller 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 en 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.

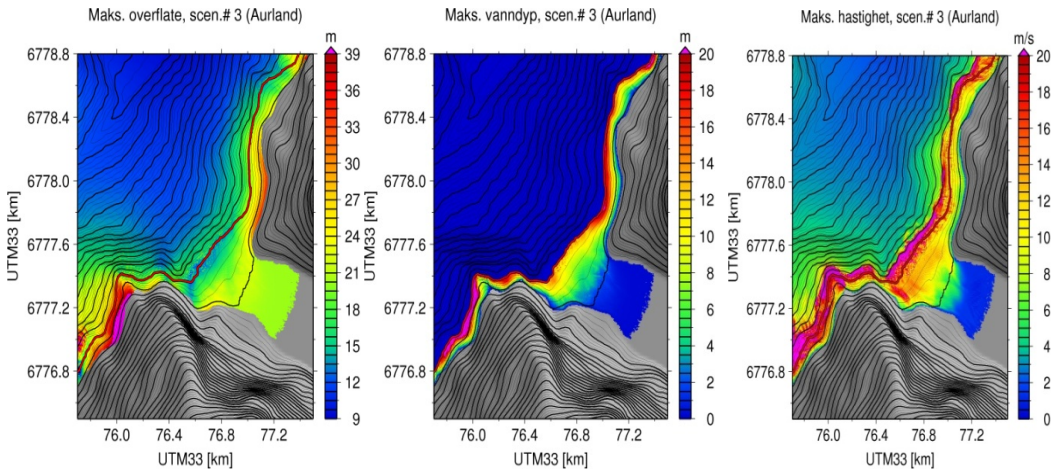
Ved beregning av dimensjonerende laster kan det videre benyttes empiriske og analytiske metoder for beregning av viskøse krefter og treghetskrefter (basert på de beregnede hastighetene beskrevet over), eller numeriske simuleringer av disse kreftene på konstruksjoner. Valg av metode må begrunnes ut fra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

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng



Figur 14: 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.



Figur15: 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

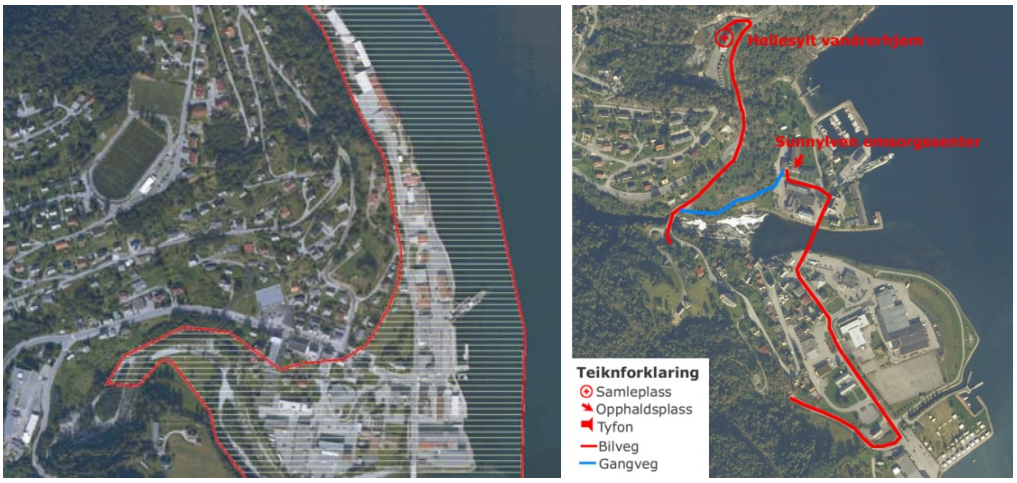
Der flodbølger vil ha begrensete oppskyllingshøyder kan det være aktuelt med voller som hindrer oversvømmelse av bebyggelse. Også bygningsmessige forsterkninger og tilpasninger som skal hindre kollaps og fare for menneskeliv kan være aktuelt.

Ved store oppskyllingshøyder er det praktisk og økonomisk umulig å gjennomføre fysiske sikringstiltak. Derfor er overvåkning 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.

Utgått

Erstattet av

https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng



Figur 16: Eksempel på beredskapskart for flodbølger i Sunnylvsfjorden etter mulig fjellskred fra Åkneset, Stranda. Venstre: Stranda sentrum med faresone opp til 10 moh., høyre: Hellesylt sentrum. Kartet er produsert av Åknes/Tafjord-prosjektet.

Figur 17: Sikringsvoll mot flodbølger i Årdalsvatn (øverst) med åpning for tilgang til vannet (Foto: Årdal kommune).

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

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.

Domaas U. 1994: Geometrical methods of calculating rockfall range. (Del av EU-prosjekt "Meteorological factors influencing lope stability and movement type"). NGI rapport 585910-1.

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.

Høydal, Ø. A. (red.), Breien H. og Sandersen F. 2013: Forslag til kriterier for vernskog mot skred. NGI rapport 20120078-01-R. (Foreløpig rapport fra NVEs/Norges forskningsråds prosjekt Skog og skred. Rapporten kan lastes ned fra NVEs nettsider).

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.

Lied, K. og Kristensen, K. 2003: Håndbok om snøskred. Vett og Viten AS.

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.

NGI 2014: Loppa kommune. Utarbeidelse av detaljerte faresonekart. NGI rapport 20130620-01-R. (Rapporten kan lastes ned fra NVEs nettsider)

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. og 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.

Utgatt

Erstattet av

https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Ragulina G. (red.) og Taurisano, A. 2014: Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentaksintervall. NVE-rapport 22/2014 (kan lastes ned fra NVEs nettsider)

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.

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Veilederserien i 2014

Nr. 1 Veileder til damsikkerhetsforskriften. Melding om ulykke eller uønsket hendelse

Nr. 2 Skyggekast fra vindkraftverk. Veileder for beregning av skyggekast og presentasjon av NVEs forvaltningspraksis

Nr. 3 Veileder til damsikkerhetsforskriften. Klassifisering av vassdragsanlegg

Nr. 4 Veileder til damsikkerhetsforskriften. Melding om ulykke eller uønsket hendelse

Nr. 5 Veileder for utforming av melding om bygging av kraftoverføringsanlegg.
Meldinger etter plan- og bygningsloven kap. 14 og tilhørende forskrift om konsekvensutredninger

Nr. 6 Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner

Nr. 7 Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper

Nr. 8 Sikkerhet mot skred i bratt terreng. Kartlegging av skredfare i arealplanlegging og byggesak

Utgått

Erstattet av

https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

Utgått

Erstattet av
https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng