

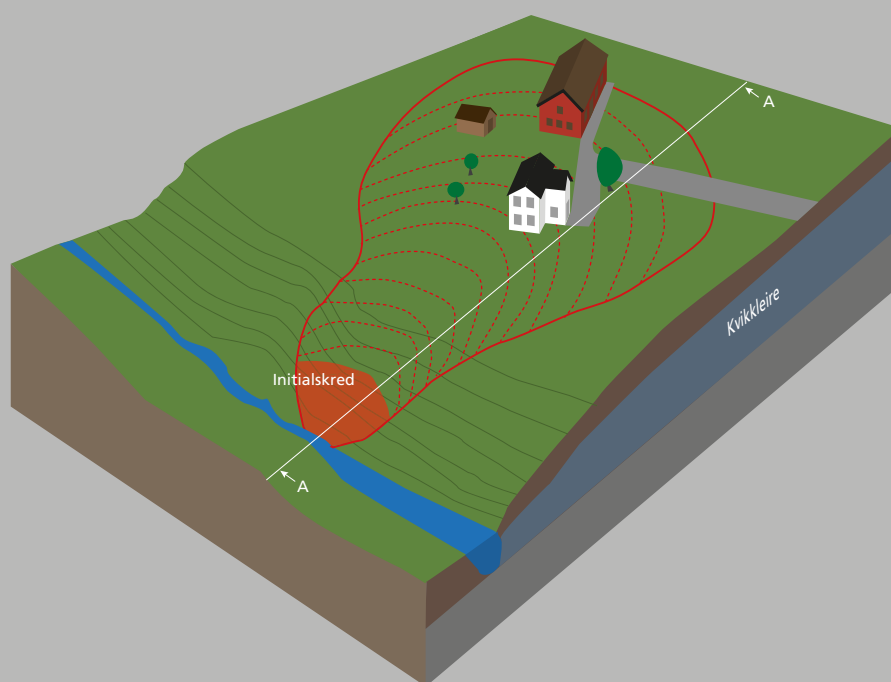


Sikkerhet mot kvikkleireskred

Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper

7
2014

V E I L E D E R



Utgått.

Erstattet av [NVE veileder I /2019](#)

Sikkerhet mot kvikkleireskred

Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging
og utbygging i områder med kvikkleire og andre
jordarter med sprøbruddegenskaper

Veileder nr 7- 2014

Sikkerhet mot kvikkleireskred

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Steinar Schanche og Ellen E. Davis Haugen

Opplag: Web-publikasjon: www.nve.no

ISSN: 1501-0678

Sammendrag: Veilederen beskriver hvordan skredfare i områder med kvikkleire, og andre jordarter med tilsvarende egenskaper, skal utredes og tas hensyn til i arealplanlegging og byggesak. Veilederen beskriver hvilke krav til sikkerhet som gjelder for bygging i slike områder, hvordan kravene kan oppfylles og krav til grunnundersøkelser og stabilitetsberegninger. Veilederen utdyper Byggteknisk forskrift (TEK 10) og NVEs retningslinjer ”Flaum- og skredfare i arealplanar”.

Emneord: Kvikkleire, sprøbruddegenskaper, områdeskred, områdestabilitet

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

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

April 2014

Innhold

Forord	5
1 Innledning - formål og virkeområde.....	7
2 Terminologi	8
3 Bruddmekanismer og skredtyper	10
3.1 Bruddmekanisme ved sprøbrudd	10
3.2 Skredtyper i sprøbruddmaterialer (områdeskred)	13
3.3 Lokalskred	16
4 Geotekniske utredninger i arealplaner og byggesaker	17
4.1 Generelt om utredning av områdeskredfare	17
4.2 Utredning tilpasset kommuneplannivå	17
4.3 Utredning tilpasset reguleringsplaner.....	18
4.4 Utredning tilpasset byggesak	19
4.5 Prosedyre for utredning av aktsomhetsområder og faresoner	20
4.6 Andre forhold ved utredning av områdestabilitet.....	25
5 Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot områdeskred	26
5.1 Generelt	26
5.2 Krav til utredning og sikkerhet for ulike tiltakskategorier	27
5.3 Kvalitetssikring av utredninger	30
6 Grunnundersøkelser	32
6.1 Omfang og type.....	32
6.2 Kvalitet	32
7 Stabilitetsvurderinger.....	33
7.1 Vurdering av skredtyper	33
7.2 Materialparametre	33
7.3 Analysemetoder	34
7.4 Beregninger og resultat	35
8 Stabiliserende tiltak.....	35
9 Rapportering av soneutredninger	36
10 Tiltak i sikrede soner	36
11 Referanser	37
Vedlegg 1. Innhold i rapport for utredning av områdestabilitet.....	41
Vedlegg 2. Skjema for innmelding av reviderte/nye faresoner til NVE	43

Forord

Kvikkleireskred kan skje uten forvarsel, ha stort omfang og medføre store skader på bebyggelse og fare for liv og helse. Forekomst av kvikkleire er knyttet til områder under marin grense. Disse områdene omfatter mye bebyggelse og er ofte attraktive for videre utbygging. NVE har i lang tid bidratt til sikring mot kvikkleireskred, og etter hvert kartlegging og rådgivning i forbindelse med arealplanlegging. Etter at NVE i 2009 fikk ansvaret for de statlige oppgavene knyttet til skredforebygging, har forebygging av kvikkleireskred vært høyt prioritert.

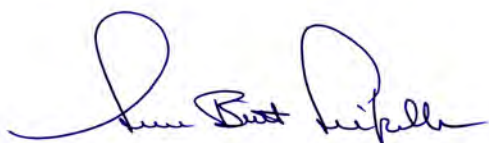
Denne veilederen er en revidert utgave av veilederen *"Vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper"*, utgitt av NVE i 2008 og sist revidert i 2009. Veilederen utdyper både NVEs retningslinjer *"Flaum- og skredfare i arealplanar"* og veiledningen til byggt teknisk forskrift (TEK 10), § 7-3. Mange av justeringene i denne revisjonen er gjort som en følge av innspill som kom i forbindelse med et seminar 30. mai 2012, der alle større foretak innenfor geoteknikk deltok sammen med NVE, Direktoratet for byggkvalitet, Statens vegvesen, Jernbaneverket og utvalgte kommuner og fylker.

Arbeidet med revisjonen er utført av en intern arbeidsgruppe i NVE. Norges Geotekniske Institutt har gitt verdifulle innspill som er innarbeidet i utkastet. Arbeidet har også hatt nytte av resultater og avklaringer som er kommet fram i programmet *"Naturfare – infrastruktur, flom og skred"* (NIFS), et samarbeid mellom Jernbaneverket, Statens vegvesen og NVE. Verdifulle innspill er også mottatt i forbindelse med at et utkast var til høring blant geotekniske foretak ved årsskiftet 2013-2014.

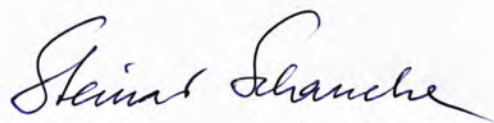
Krav til sikkerhet mot skred er gitt i byggt teknisk forskrift (TEK 10) med tilhørende veiledning. Direktoratet for byggkvalitet har i april 2014 justert veiledningen til TEK 10 for de preaksepterte ytelsene som gjelder for sikkerhet mot kvikkleireskred. Endrede tiltakskategorier med tilhørende krav til utredning og sikkerhet som er gjort i veiledningen til § 7-3 i TEK 10 for temaet kvikkleire, er omtalt og nærmere utdypet i denne veilederen.

NVE er klar over at denne revisjonen ikke gir svar på alle spørsmål knyttet til vurdering av skredfare og stabilitetsanalyser i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. I kapitlene som omhandler grunnundersøkelser og stabilitetsvurderinger er det bare gjort mindre endringer. NVE tar sikte på å nedsette en arbeidsgruppe med representanter fra det geotekniske fagmiljøet for å utvikle veilederen videre, spesielt den geotekniske metodikken.

Oslo, april 2014



Anne Britt Leifseth
Avdelingsdirektør



Steinar Schanche
Seksjonssjef

1 Innledning - formål og virkeområde

Formålet med denne veilederen er å gi en mal for geotekniske utredninger og dokumentasjon av tilfredsstillende sikkerhet mot områdeskred i kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper (også benevnt kvikkeleireskred), i forbindelse med arealplaner og byggesaker. Veilederen utdyper byggt teknisk forskrift (TEK 10) med tilhørende veiledning og NVEs retningslinjer ”*Flaum- og skredfare i arealplanar*”.

Veilederen er avgrenset til utredning av skredfare og dokumentasjon av tilfredsstillende sikkerhet mot skred. Veilederen gjelder også for tilfeller der menneskelige inngrep kan medføre skred utenfor området for selve inngrepet, eksempelvis som følge av skjæringer, fyllinger, grøfter og lignende. Lokalstabilitet av det enkelte tiltak (fundamentering av bygg eller konstruksjoner, byggegroper, skjæringer, fyllinger eller grøfter) må prosjekteres i samsvar med gjeldende norske standarder (bl.a. Eurokode 7, ref./3/).

Et viktig poeng i veilederen er behovet for utredning av skredfare og stabiliserende tiltak for hele området som kan være skredutsatt (områdestabiliteten), også arealer som ev. ligger utenfor det aktuelle plan-/byggeområdet. Dette innebærer at en først må identifisere og avgrense hele det området som kan bli berørt ved et skred, inkludert arealer som kan rammes av skredmassene. Unntatt er bare små, nærmere definerte tiltak, se tabell 5.1 i kapittel 5.

Veilederen er myntet på både geoteknisk fagkyndige og arealplanleggere i kommunene. Den gir ikke en utfyllende beskrivelse av hvordan områder med skredfare skal innarbeides i kommune- eller reguleringsplaner i form av hensynssoner og planbestemmelser. Dette er nærmere beskrevet i NVEs retningslinjer ”*Flaum- og skredfare i arealplanar*”.

Det understrekes at utglidninger kan forekomme i alle typer løsmasser som følge av svekket skråningsstabilitet pga. erosjon og menneskelige inngrep. Utstrekningen av slike lokale utglidninger begrenser seg normalt til skråningen, mens et områdeskred i jordarter med sprøbruddegenskaper vil strekke seg lengre enn dette. Veilederen er ikke myntet på utredning av slike lokalskred, med unntak for lokalskred som kan komme i kontakt med sprøbruddmaterialer, og dermed være et initialskred som utløser områdeskred. I alle løsmasseskråninger må en være oppmerksom på fare for lokale skred/utglidninger, både i arealplanlegging, byggesaksbehandling og prosjektering.

2 Terminologi

Aktsomhetsområder: I denne veilederen nyttes begrepet aktsomhetsområder for områder der det potensielt kan være skredfarlig kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper, uten at skredfaren er undersøkt.

I den groveste avgrensningen vil aktsomhetsområder for kvikkleireskred omfatte alle områder under marin grense. Aktsomhetsområdene kan avgrenses nærmere til å omfatte områder med marine avsetninger. De kan avgrenses ytterligere til bare å omfatte de områdene med marine avsetninger der det er terrengforhold som gir mulig fare for områdeskred. Det forutsettes da at det nyttes konservative topografiske kriterier som får med alle mulige skredfarlige områder. Også sannsynlige utløpsområder der skredmasser kan gjøre skader, skal inkluderes i aktsomhetsområdene.

For skredfarlige områder som er nøyere avgrenset og faregradsevaluert på grunnlag av grunnundersøkelser og geotekniske vurderinger og ev. beregninger, brukes i denne veilederen begrepet faresoner, se under.

Faregrad: I denne veilederen er begrepet faregrad et kvalitativt uttrykk for sannsynligheten for områdeskred i en identifisert, avgrenset faresone. Sonens faregradsklasse, høy, middels eller lav, bestemmes ut fra et sett med topografiske, geologiske og geotekniske kriterier samt utførte terrengendringer, ref. /2/.

Faresoner: I denne veilederen brukes begrepet for et antatt maksimalt løsneområde for et områdeskred, avgrenset på grunnlag av grunnundersøkelser, terrenganalyser og geotekniske vurderinger, og faregradsevaluert etter ref. /2/ eller stabilitetsberegnet i samsvar med kapittel 6 og 7 i veilederen. I en komplett kartlegging skal faresoner også omfatte utløpsområder der skredmasser kan medføre skader på byggverk og/eller utgjøre en fare for mennesker.

Faresoner kan inndeles i to kategorier avhengig av hvor nøyaktig faren er utredet:

- 1) Faregradsklassifiserte faresoner: Faresoner hvor faren bare er angitt ved en faregrad for sonen (klassifisert etter ref./2/). Skredfaren er ikke vurdert ved stabilitetsanalyser.
- 2) Stabilitetsutredete faresoner: Klassifiserte faresoner der skredfaren er nærmere utredet ved stabilitetsanalyser hvor jordoppførsel, fasthetsparametre og andre materialegenskaper for jordartene er lagt til grunn i samsvar med denne veilederens anvisninger. Faren er angitt ved en sikkerhetsfaktor, F , for kritiske skråninger i sonen.

Flakskred: Skred der hele laget over glideflaten glir ut som et flak i et tilnærmet monolittisk stykke, se figurene 3.5 og 3.6.

Initialskred (initial utglidning): Lokalt skred som utløser et større skred (områdeskred) i tilstøtende sprøbruddmaterialer (se figur 3.4). Initialskred kan utløses av både menneskelige inngrep og naturlige prosesser, se "Utløsende årsaker" under.

Kvikkleire: Leire som i omrørt tilstand har omrørt skjærfasthet $c_{u,r} \leq 0,5$ kPa, ref. /9/. For enkelthets skyld er begrepet kvikkleire flere steder i veilederen brukt for både kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper.

Lokalskred: Et lokalt rotasjonsskred eller overflateutglidning som kan skje i alle materialtyper, men som ikke utvikler seg til et områdeskred, se figur 3.7.

Lokalstabilitet: Betegnelsen på en lokalt avgrenset stabilitetstilstand med mulighet for brudd (utglidning) i grunnen. Bruddet begrenses til det lokale påvirkningsområdet for spenningsendringen som har oppstått i skråningen. Typiske eksempler er lokalt grunnbrudd under fylling eller fundament, lokal utglidning ved graving i skråning i byggegrop eller i skjæring (stabilitetsbrudd), eller lokal utglidning i naturlig skråning som følge av poretrykksendring eller erosjon.

Løsneområde: Det området som glir ut når et skred inntreffer.

Marin grense: Det høyeste nivået havet nådde etter siste istid.

Områdeskred: Her brukt for fremover- eller bakoverrettede skred med progressiv bruddutvikling i områder med kvikkleire/sprøbruddmateriale, i motsetning til lokalskred, se eksempler i kapittel 3. Et områdeskred kan ha stor utbredelse. Begrepet kvikkleireskred brukes også om områdeskred.

Områdestabilitet: En stabilitetstilstand der et initialt brudd kan igangsette en progressiv frem- eller bakoverrettet bruddutvikling i tilstøtende sprøbruddmaterialer, slik som er typisk for kvikkleire. Skredet kan bli omfattende dersom det omrørte sprøbruddmaterialet får fritt utløp i fallende terreng.

Omrørt skjærfasthet: Skjærfasthet etter at leira er fullstendig omrørt, betegnet med $c_{u,r}$.

Progressiv bruddutvikling: Suksessiv utvikling av brudd i jordmaterialet langs et glideplan pga. tap av fasthet. Se nærmere forklaring i kapittel 3.1.

Retrogressivt skred: Det samme som skalkskred, beskrevet under.

Rotasjonsskred: Skred med tilnærmet sirkulærsylindrisk glideflate.

Sensitivitet, S_t : Forholdet mellom uforstyrret og omrørt udrenert skjærfasthet i finkornig jordmateriale, $c_u/c_{u,r}$ (ref. /9/). For rett angivelse av sensitiviteten må uforstyrret skjærfasthet finnes fra uforstyrrede prøver.

Sikkerhetsfaktor, F : Angir en beregnet verdi for forholdet mellom stabiliserende krefter og drivende krefter langs en potensiell glideflate. Beregnet sikkerhetsfaktor påvirkes av usikkerhet i verdier for jordas mekaniske egenskaper, romvekt og poretrykksforhold, samt usikkerhet i selve terrengmodellen og beregningsmodeller. I beregningen av sikkerhetsfaktor blir det ikke lagt partialfaktorer på de enkelte jordparametrene.

Skalkskred: Skred som utvikles ved at skaller glir ut suksessivt. Skredet griper bakover og i mange tilfeller sideveis i sprøbruddmateriale (nærmere omtalt under kapittel 3.2). Kalles også retrogressivt skred.

Skredgrop: Terrenggropa som står igjen i skredets løsneområde etter de utglidde skredmassene.

Skredport: Passasjen der skredmassen forlater skredgropa, ofte avgrenset i bredde der initialscredet oppsto og åpnet for en pæreformet/flaskehalsformet utvikling videre bakover av skredgropa.

Soneutredning: En utredning av hele faresonen, dvs. en stabilitetsvurdering av alle skråninger hvor et skred kan utløses og utvikles til et områdeskred og utløpsområder som kan rammes av skredmassene. Kalles også utredning av områdestabilitet.

Sprøbruddmateriale (jordarter med sprøbruddegenskaper): I geoteknisk sammenheng er dette definert som løsmasser (leire og silt) som utviser en utpreget sprøbruddoppførsel, dvs. en betydelig reduksjon i fasthet ved tøyninger ut over tøyning ved maksimal fasthet, se figur 3.2. For enkelthets skyld er begrepet kvikkleire flere steder i veilederen brukt for både kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper.

Denne veilederen skal fange opp alle typer skred i leir- og siltmaterialer som blir større enn et lokalskred med seig/nøytral bruddform. Det er lagt til grunn at slike områdeskred vil kunne oppstå i materiale med omrørt skjærfasthet $c_{u,r} < 2$ kPa og sensitivitet $S_t > 15$.

Udrenert skjærfasthet: Skjærfasthet (c_u) for jord ved udrenerte forhold, ref. /9/.

Utløpsdistanse: Distansen fra løsneområdets nedre grense til skredmassenes endepunkt. Utløpsdistansen vil avhenge av nedstrøms terrenghelning, lokaltopografi og hindringer i skredbanen, sprøbruddmaterialets omrørte skjærfasthet og viskositet, samt mektighet og volum over utløpsnivå (ref./6/).

Utløpsområde: Området der skredmassene avsettes nedenfor skredgropa. Utløpsområdet må vurderes på bakgrunn av skredmassenes egenskaper og topografiske forhold både i løsne- og utløpsområdet.

Resultater fra nyere forskning (ref. /23/, /24/, /25/) tyder på at leirmasser som har omrørt skjærfasthet $c_{u,r} < 1$ kPa blir tilnærmet helt flytende og dermed kan flyte langt vekk fra løsneområdet, f.eks. i bekkedaler. Leire med $c_{u,r} > 1$ kPa blir ikke like flytende i omrørt tilstand, og for slik leire vil utløpsområdet være mer begrenset, avhengig av skredvolum og skråningshelning nedenfor løsneområdet.

Utløsende årsaker: Faktorer som kan føre til utløsning av et lokalskred/ initialskred med påfølgende områdeskred. Utløsende årsaker kan være grave- eller fyllingsaktivitet, pelearbeid, endring av poretrykk, grunnvannsstrømning og erosjon fra overvann eller vassdrag. Også rystelser pga. sprengning og liknende kan muligens utløse initialskred.

3 Bruddmekanismer og skredtyper

3.1 Bruddmekanisme ved sprøbrudd

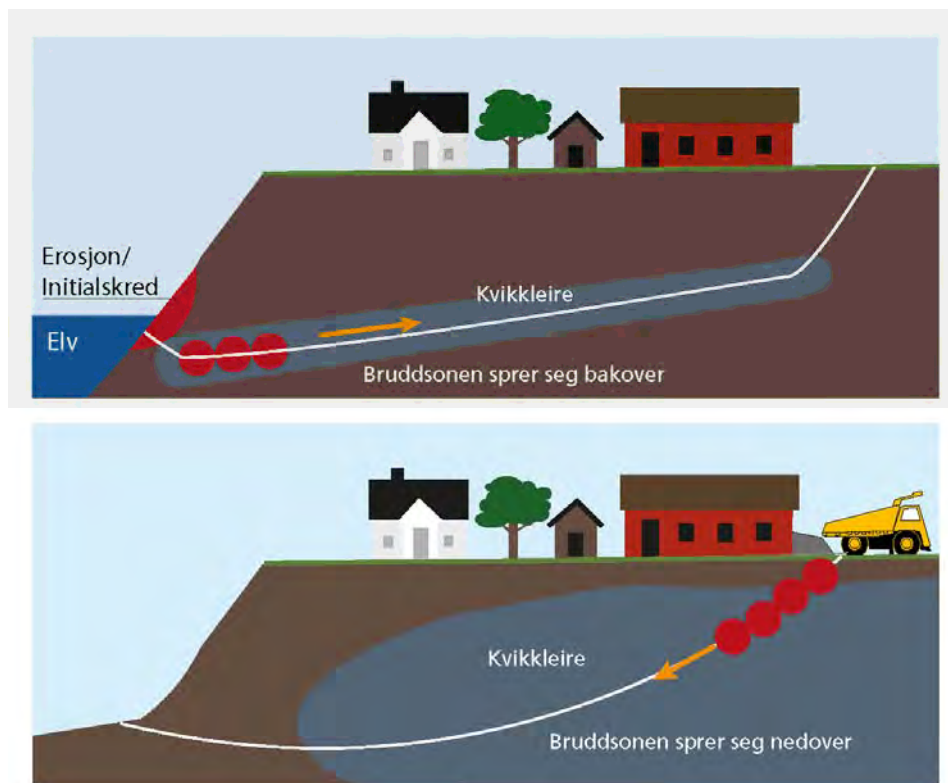
Et sprøbruddmateriale er et materiale som får en betydelig reduksjon i fasthet ved tøyninger utover tøyning ved maksimal fasthet, se figur 3.2. Fastheten i materialet gjenvinnes ikke selv om materialet avlastes. Dette medfører fare for progressive brudd. Ved et progressivt brudd vil lokal overbelastning av grunnen sette i gang en kjedereaksjon av brudd som forplanter seg langs en bruddsone. Materialpunktene langs bruddsonen når suksessivt sin maksimale fasthet ved at belastning overføres fra punkter som allerede er gått til brudd.

Et progressivt brudd vil forplante seg gjennom et sprøbruddmateriale og resultere i fullt utviklede glideplan. Lokal overbelastning i et lag med sprøbruddmateriale kan føre til en progressiv bruddutvikling selv om den beregnede stabiliteten i utgangspunktet var god.

Figur 3.1 og 3.2 illustrerer prinsippene ved en progressiv bruddutvikling.

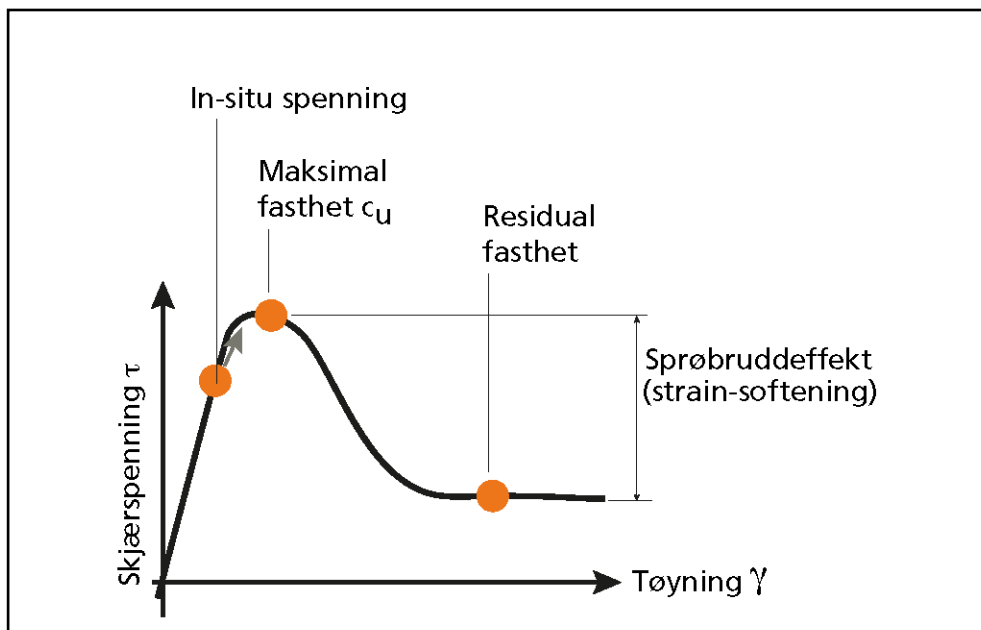
- 1) Ved graving i foten eller pålasting i bakkant av skråningen øker skjærspenningene, τ , i jorda. Når skjærspenning lokalt øker opp til den udrenerte skjærfastheten, c_u , får en et brudd i dette materialpunktet.
- 2) Brudd i ett punkt medfører at den økte belastningen overføres til andre punkter. Bruddet forplanter seg videre til neste materialpunkt, dvs. progressivt, og deretter videre til neste punkt langs glideflaten. Samtidig får de første bruddpunktene ytterligere svekket fasthet pga. økte tøyninger.
- 3) Når de drivende kreftene blir større enn de stabiliserende, dvs. sikkerhetsfaktoren for skråningen $F < 1,0$, går hele glideflaten til brudd. Da inntreffer skredet.
- 4) Når skredet går blir leira i glideflaten fullstendig omrørt og bare residualfastheten er igjen, dvs. den omrørte skjærfastheten, $c_{u,r}$.

Hendelsesforløpet til ulike typer skred som utvikles ved progressive brudd er forskjellig. Skredtypenes hendelsesforløp antas primært å være avhengig av utløsningsårsak, omrørt skjærfasthet og overdekningslag (løsmasstype og tykkelse) over sprøbruddmaterialet og sprøbruddmaterialets beliggenhet og tykkelse.



Figur 3.1 Illustrasjon av progressiv bruddutvikling i sprøbruddmaterialer.
Over: Bruddet starter i skråningsfoten. Under: Bruddet starter i bakkant.

I kapittel 3.2 er noen typiske eksempler på skredtyper omtalt og vist med figurer.

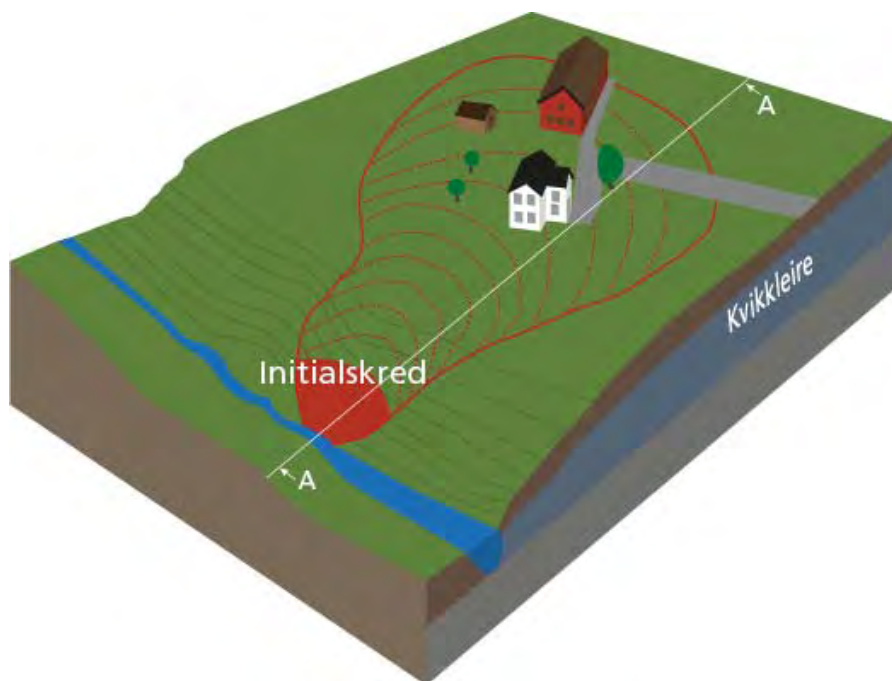


Figur 3.2. Viser hvordan fastheten/spenningsforholdet i sprøbruddmaterialet endrer seg ved pålastning fra opprinnelig spenningstilstand i jorda (in-situ-spenning) til maksimal fasthet lik skjærfastheten, c_u . Ved pålastning utover maksimal fasthet mister sprøbruddmaterialet brått skjærfasthet, slik at et brudd oppstår. Ved ytterligere tøyning minker skjærfastheten til den tilslutt når den omrørte (residuale) fastheten, $c_{u,r}$.

3.2 Skredtyper i sprøbruddmaterialer (områdeskred)

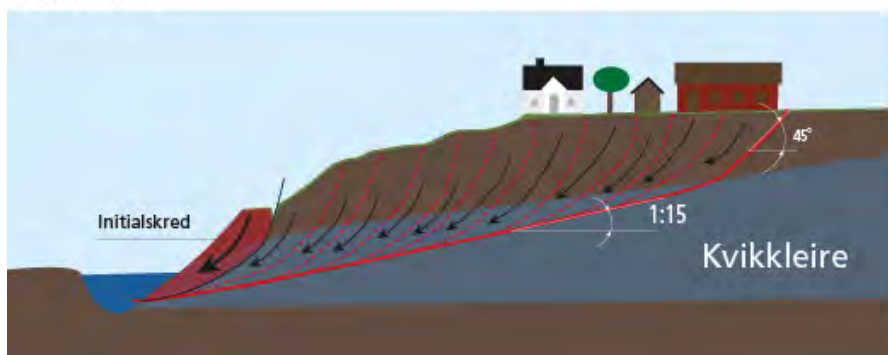
Bakoverrettet skalkskred (også kalt retrogressivt skred):

Skredet går bakover i "skalker" som glir ut av skredgropen (forutsetter at skredmassene blir flytende og ikke demmes opp foran skråningsfoten). Hvert enkelt skred løsner som resultat av at støtten nedenfor er fjernet. Disse skredene vil ofte etterlate en pæreformet/flaskehalsformet skredgrop.



Figur 3.3 Initialskred og bakoverrettet skalkskred.

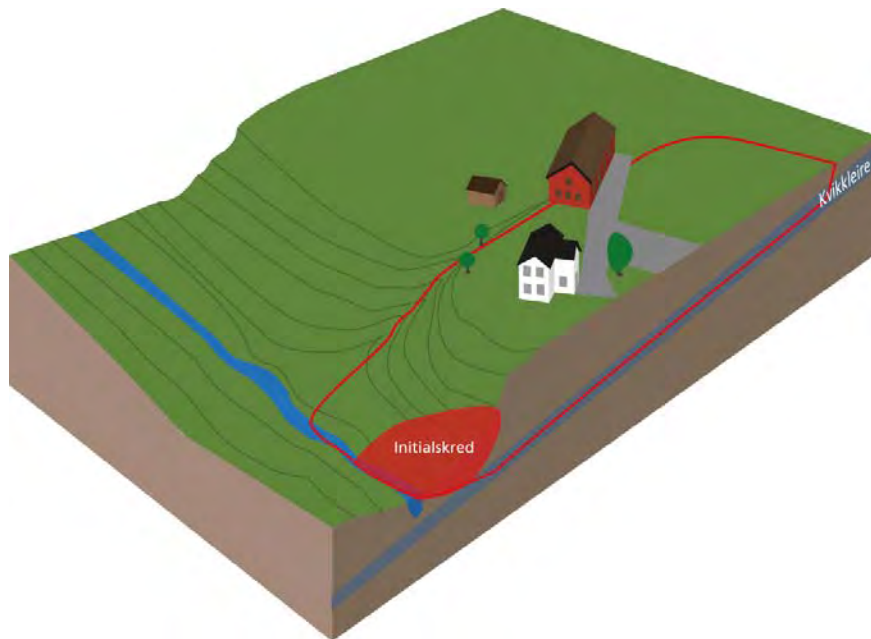
Snitt A-A



Figur 3.4 Snitt som viser initialskred og bakoverrettet skalkskred (retrogressivt skred) med typisk helning på skredgropa.

Bakoverrettet flaskred:

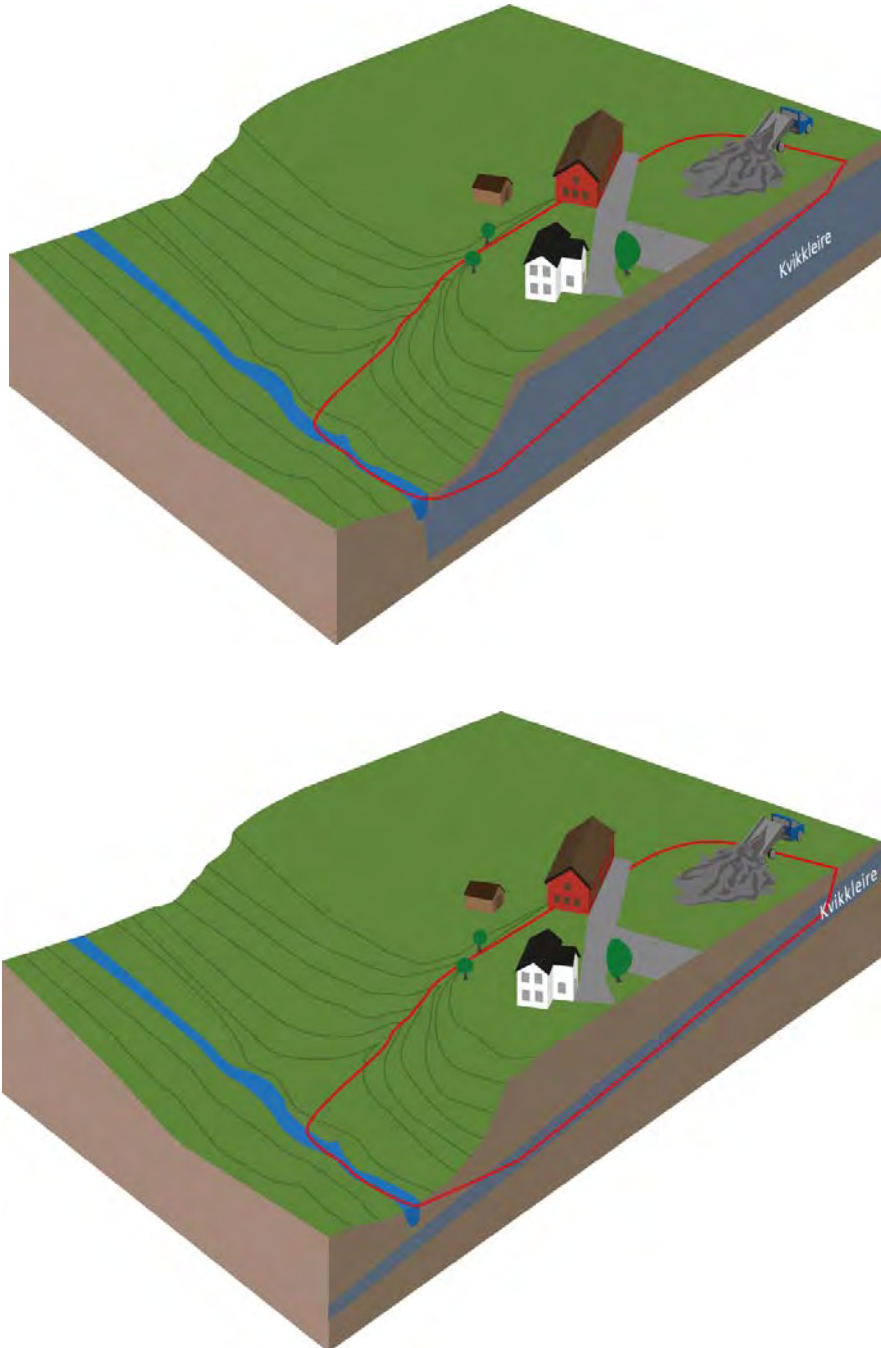
Skredet går som et flaskred utviklet fra skråningsfoten. Opptrer vanligvis hvis laget av sprøbruddmateriale er av liten mektighet og overdekningen av andre løsmasser er stor, slik at bruddflaten tvinges bakover. Bakkant av flaskskredet bestemmes av utstrekningen av laget med sprøbruddmateriale og helning, og sidekreftenes innvirkning ("innspenning"). Skredet utvikler seg ofte også sideveis i sprøbruddmaterialet fra området der skredet starter.



Figur 3.5 Initialskred og bakoverrettet flaskred, initiert i foten av skråningen. Pga. sprøbruddmaterallagets form og beliggenhet går et større flak ut istedenfor mindre skalker.

Fremoverrettet flaskkred:

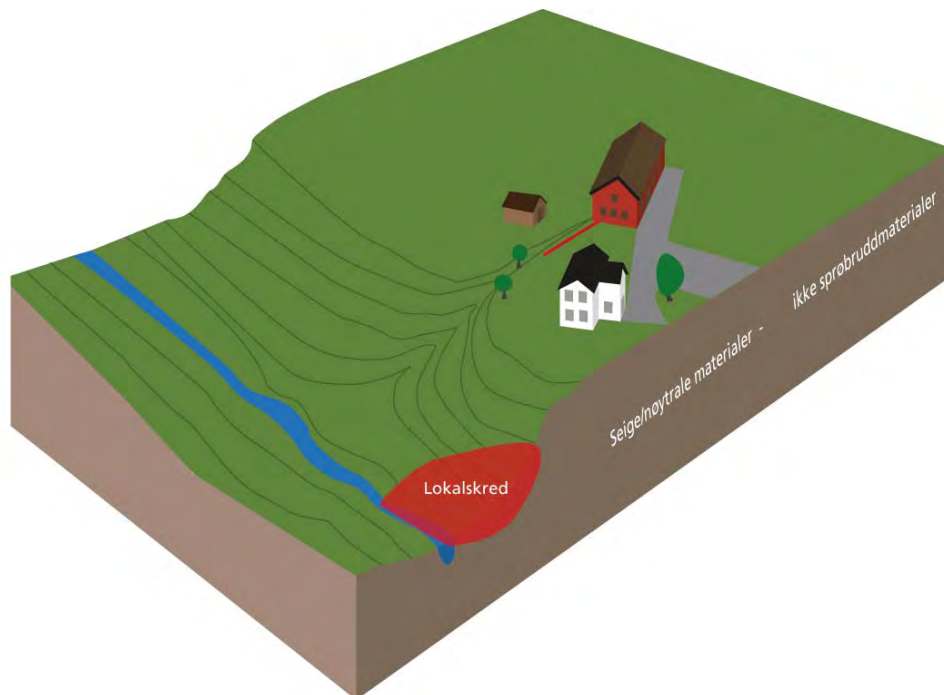
Skred hvor bruddutviklingen starter i bakkant og beveger seg fremover (i retning med utglidningen). Bruddet initieres i bakkant ved overbelastning. Bruddet utvikles ved en reduksjon i skjærfasthet som forplanter seg langs et kritisk glideplan.



Figur 3.6 Fremoverrettet flaskkred, utløst ved pålastning i bakkant. Kan forekomme både i grunn med stor mektighet av kvikkleire (øverst) eller glidning langs et sjikt (nederst). Bruddet forplanter seg progressivt fra bakkant og fremover i sprøbruddmaterialet.

3.3 Lokalskred

Et lokalskred er et lokalt rotasjonsskred eller overflateutglidning som kan skje i alle materialtyper. Hvis lokalskredet ikke skjer i tilknytning til sprøbruddmaterialer, begrenses bruddet (utglidningen) til det lokale påvirkningsområdet for spenningsendringen som har oppstått i skråningen. Hvis lokalskredet skjer i tilknytning til sprøbruddmaterialer vil det kunne utløse et områdeskred og dermed kalles et initialscred.



Figur 3.7 Lokalskred. Fravær av sprøbruddmaterialer medfører at lokalskredet ikke utvikles til et områdeskred.

4 Geotekniske utredninger i arealplaner og byggesaker

4.1 Generelt om utredning av områdeskredfare

NVEs retningslinjer ”*Flaum- og skredfare i arealplanar*” beskriver hvordan skred- og flomfare bør utredes og tas hensyn til i kommuneplaner, reguleringsplaner og til slutt i byggesak. Behovet for detaljeringsgrad og kvalitet på fareutredninger vil være forskjellig på de ulike plannivåene og i byggesaker, og vil også avhenge av planformål og type byggverk som planen omfatter. Utredningene bør være tilstrekkelige til å avgjøre om planen er gjennomførbar, og til å fastsette planbestemmelser og hensynssoner, herunder hvilke sikringstiltak som må kreves.

Denne veilederen gjelder først og fremst utredning av områdeskredfare i forbindelse med kommuneplaner og reguleringsplaner som omfatter ny bebyggelse (herunder utvidelser og fornying av bygg). Mange reguleringsplaner er imidlertid vedtatt uten at skredfaren er tilstrekkelig utredet. Dersom skredfaren ikke er tilstrekkelig utredet i reguleringsplaner for aktuelt tiltak, må utredning og dokumentasjon av tilfredsstillende sikkerhet mot kvikkleireskred skje i forbindelse med byggesaken.

4.2 Utredning tilpasset kommuneplannivå

I følge NVEs retningslinjer bør en på kommuneplannivå som et minimum identifisere og markere områder med *potensiell* fare for skred (aktsomhetsområder). Kommunen kan selv velge hvilken grad av nøyaktighet utredningen skal ha for hele eller ulike deler av kommunen ut fra sitt behov, f.eks. ut fra den betydningen de ulike utbyggingsområder har og hvilke typer bygg som er aktuelle i de ulike byggeområdene. Økt grad av nøyaktighet vil som regel redusere aktsomhetsområdenes utstrekning.

Den groveste avgrensningen av aktsomhetsområder for områdeskred er å markere alle områder under marin grense som aktsomhetsområder. Dette vil i mange tilfeller være lite tilfredsstillende, fordi det gir svært begrenset informasjon. Det anbefales derfor å avgrense (innskrenke) aktsomhetsområder til områder med marine avsetninger. En ytterligere innsnevring kan skje ved en terrenganalyse der den bare får med marine avsetninger med terrengforhold der det kan gå områdeskred, f.eks. ved en enkel GIS-analyse, se kap. 4.5, punktene 1-5.

En mer nøyaktig kartlegging, der faresoner (med tilhørende utløpssoner) identifiseres, avgrenses og faregradsklassifiseres i samsvar med punkt 6- 9 i kapittel 4.5, vil gi et langt bedre grunnlag for farevurdering og arealstyring. Hvor detaljert og nøyaktig utredningen bør være kan avpasses etter aktuelt planformål og arealets betydning for utbygging. I NVEs retningslinjer er det anbefalt at kommunen for hele eller deler av kommunen, f.eks. for viktige utbyggingsområder, får hjelp av en geoteknisk fagkyndig til å vurdere behovet for nærmere utredning av skredsikkerhet, og ved bestemmelser til kommuneplanen sikre at disse utredningene blir gjort ved regulering. For viktige utbyggingsområder er det anbefalt å gjennomføre samme utredninger som er beskrevet for reguleringsplaner.

For eksisterende og planlagte byggeområder bør kommunene markere aktsomhetsområdene som hensynssoner, med bestemmelser som gir krav om nøyere kartlegging som skal gjøres i forbindelse med reguleringsplaner og byggesaker. Dette er ikke nærmere beskrevet i denne veilederen.

I deler av landet er store faresoner for kvikkleireskred kartlagt og faregradsklassifisert ved bruk av en metode utarbeidet av NGI (ref. /2/). Disse sonene er vist på www.skrednett.no. Sonene gir ikke fullstendig oversikt over alle mulige faresoner i de kartlagte områdene. Den nasjonale kartleggingen har bare identifisert store soner med fare for kvikkleireskred, og er mange steder basert på svært begrensede grunnundersøkelser. Utløpsområder er ikke inkludert, og enkelte avsetningstyper, f.eks. strandavsetninger langs sjø, har heller ikke vært prioritert i denne kartleggingen. I arealplanleggingen vil disse kartene derfor ikke kunne brukes som eneste grunnlag for en vurdering av fare for områdeskred, også andre arealer med forekomst av marine avsetninger må undersøkes i samsvar med kapittel 4.5.

4.3 Utredning tilpasset reguleringsplaner

Omfang og detaljeringsgrad for utredninger i forbindelse med reguleringsplaner er avhengig av reguleringsformål, hvilke tiltakskategorier planen omfatter, og planområdets beliggenhet i forhold til aktsomhetsområder som er avgrenset i samsvar med punktene 1-5 i kapittel 4.5. Der en tidlig kan konkludere med at planlagte byggeområder vil ligge utenfor aktsomhetsområder (f.eks. over marin grense, ev. utenfor områder med marine avsetninger), er det ikke nødvendig med videre kartlegging.

Der planlagte byggeområder ligger innenfor aktsomhetsområder og omfatter byggverk i tiltakskategorier der en må utrede områdestabilitet, må faresoner identifiseres, avgrenses og faregradsklassifiseres i tråd med prosedyren beskrevet i kapittel 4.5, punktene 6-9. Denne kartleggingen må være tilstrekkelig til å få med alle aktuelle faresoner, og til at de kan avgrenses nøyaktig og klassifiseres etter faregrad. Tiltakskategoriene er nærmere beskrevet i kapittel 5.

Som nevnt vil de topografiske kriteriene som er benyttet i den nasjonale kartleggingen bare identifisere løsneområder med potensial for store skred. Det understrekes at det også vil kunne være skredfare ved mindre høydeforskjell og areal. I forbindelse med reguleringsplaner må det gjøres en geoteknisk vurdering av planområdet for å fange opp alle mulige skredfarlige områder, se punkt 7 i kapittel 4.5.

For å identifisere og avgrense faresoner må det foreligge et minste omfang av grunnundersøkelser. Som regel vil mer omfattende grunnundersøkelser bidra til å redusere faresonenes utstrekning og i noen tilfelle avkrefte skredfare for det aktuelle tiltaket.

Også utløpsområder der skredmasser kan utgjøre fare må vurderes og avgrenses. Hver faresone skal omfatte sannsynlig utbredelse av et områdeskred (løsne- og utløpsområde). Dersom et tiltak ligger i et utløpsområde gjelder de samme kravene for sikkerhet som om tiltaket lå i løsneområdet, bortsett fra at en kan se bort fra at tiltaket vil påvirke stabiliteten.

De identifiserte faresonene klassifiseres i tre klasser etter kriteriene i ref. /2/. For soner som er faregradsklassifisert tidligere, f.eks. i forbindelse med den nasjonale kvikkleire-kartleggingen, skal klassifiseringen gjennomgås på nytt, bl.a. på grunnlag av ev. nye data som er kommet til. Mulig pågående erosjon i eller inn mot kartlagte faresoner må vies særlig oppmerksomhet.

Behov for videre utredning av skredfare er avhengig av faregradsklasse for faresonen og hvilken tiltakskategori tiltaket tilhører, se kapittel 5. For faresoner med tiltakskategorier og/eller faregrad der det er krav til utredning av områdestabilitet (jf. tabell 5.2 og figur 5.1), må det gjennomføres grunnundersøkelser og stabilitetsanalyser i samsvar med kapittel 6 og 7. Eventuelle nødvendige sikringstiltak i og utenfor planområdet må utredes i et slikt omfang at en kan dokumentere at planlagte tiltak vil oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot områdeskred, og at tiltakene kan gjennomføres på skredsikkert vis.

Det anbefales at geoteknisk fagkyndig utarbeider en plan som dokumenterer at stabiliserende tiltak kan utføres før selve tiltaket, slik at stabiliteten ikke forverres i byggeprosessen, eller at arbeidene kan utføres på skredsikker måte ved andre forholdsregler. Detaljprosjektering følges opp i byggefasen. For særlig kompliserte eller viktige planer anbefales det at det gis krav til utførelse og nødvendige faseplaner og rekkefølgeplaner med evt. arbeidsbeskrivelse. Dette vil gi grunnlag for videre geoteknisk prosjektering i forbindelse med byggesaken.

Kommunen må etter dette selv vurdere om planen er gjennomførbar, herunder vurdere om de økonomiske og miljømessige konsekvensene av aktuelle sikringstiltak vil være akseptable. I NVEs retningslinjer "*Flaum og skredfare i arealplaner*" er det beskrevet hvordan aktsomhetsområder og faresoner med tilhørende krav til nødvendige sikringstiltak bør innarbeides i reguleringsplaner.

4.4 Utredning tilpasset byggesak

For byggesak gjelder de samme prosedyrer for utredning som for reguleringsplaner. Dersom utredningene ikke er gjort i forbindelse med reguleringsplan, må en først undersøke om tiltaket ligger innenfor aktsomhetsområder. For tiltak i tiltakskategori K2-K4 som ligger innenfor aktsomhetsområder, må en følge prosedyren gitt i kapittel 4.5 for å identifisere og avgrense faresoner, klassifisere dem etter faregrad, gjennomføre nødvendige stabilitetsanalyser før og etter utbygging, og dokumentere at en vil oppnå tilfredsstillende sikkerhet, se tabell 5.2.

I byggesak/dispensasjonssak må ansvarlig søker i tillegg påse at området vil ha tilfredsstillende sikkerhet mot skred i alle faser av utbyggingen. I områder med kvikkleire må en i alle faser av utbyggingen unngå forverring av stabiliteten, med mindre sikkerhetsfaktoren er dokumentert høyere enn 1,4. Hvis sikkerhetsfaktoren er mindre må nødvendige stabilitetsforbedrende tiltak gjennomføres før oppstart av aktuell del av anleggsfasen, eller ved å sørge for at skredsikkerheten under utførelsen er tilstrekkelig ivarettatt ved andre forholdsregler.

Det tilhører prosjekteringsansvaret å utarbeide plan for gjennomføringen med konkrete tiltak som ivaretar dette. Planen skal omfatte nødvendige faseplaner og rekkefølgeplaner med evt. spesiell arbeidsbeskrivelse.

Områder som ikke har skredfare i naturlig tilstand på grunn av de terrengmessige forholdene vil ikke bli identifisert som aktsomhetsområder eller faresoner etter metoden beskrevet i kapittel 4.5. Slike områder kan likevel få forverret lokalstabilitet ved menneskelige inngrep. Sikkerhet knyttet til byggetomt og tilstøtende arealer skal tas hensyn til ved geoteknisk prosjektering i byggesaken.

Generelt må alle byggeprosjekter i potensielt skredfarlig terreng vurderes av fagkyndig for å avklare skredfare. Vurdering av skredfare pga. dårlig lokalstabilitet er nødvendig også for områder uten sprøbruddmateriale. Sikkerhet mot lokale brudd/utglidninger ved tiltak som ikke påvirker områdestabiliteten skal tilfredsstille aktuelle krav til absolutt materialfaktor i samsvar med gjeldende norsk standard. (pr. d.d. Eurokode 7, ref./3/). Eventuelt behov for høyere materialfaktor enn angitt minimumsnivå avgjøres i samråd med byggherren.

4.5 Prosedyre for utredning av aktsomhetsområder og faresoner

Punktene 1 -10 på de neste sidene beskriver en prosedyre for identifisering og avgrensning av kvikkleireområder med potensiell skredfare (aktsomhetsområder, punkt 1-5), avgrensning og faregradsevaluering av faresoner (faregradsklassifiserte faresoner, punkt 6-9) og til slutt stabilitetsanalyser (stabilitetsutredete faresoner, punkt 10). Fullstendig utredning av faresoner er nødvendig for tiltak i tiltakskategori K2-K4 i tabell 5.2. Avhengig av hvor nøyaktig utredningene skal være, kan det være aktuelt med leveranser fra ulike faser av utredningene. Mulige leveranser er angitt under de aktuelle punkter.

1. Avklar hvor nøyaktig utredningen skal være.

Omfanget av utredningen tilpasses plannivå og planformål/tiltakskategori.

2. Undersøk om hele eller deler av området ligger under marin grense.

Kart som viser modellert marin grense i Norge finnes på NGUs nettsider. Den mest konservative avgrensningen av aktsomhetsområder for områdeskred er å anse alle områder under marin grense som aktsomhetsområder. Dersom planlagte byggeområder ligger over marin grense er byggeområdene avklart i forhold til skredfare. Dette gjelder både kommune- og reguleringsplan.

I kommuneplanen kan kommunen velge å anse alle områder under marin grense som aktsomhetsområder for områdeskred, og gi planbestemmelser med krav til videre utredning på reguleringsplannivå for alle disse områdene. Dette innebærer at kommunen aksepterer stor usikkerhet i sin arealplan.

✓ *Mulig leveranse: Kart som viser marin grense.*

3. Avgrens områder med marine avsetninger.

Områder med marine avsetninger kan finnes ved bruk av løsmassekart (www.ngu.no) og rapporter fra eksisterende grunnundersøkelser. I tillegg til områder med hav- og fjordavsetninger kan marine avsetninger også forekomme under flere andre typer avsetninger.

Dersom planlagte byggeområder ligger utenfor områder med marine avsetninger, og de heller ikke kan rammes av skredmasser ovenfra, er området klarert for kvikkleireskredfare (gjelder både på kommune- og reguleringsplannivå). Det formuleres da en kort konklusjon og begrunnelse som kommunen kan nytte i ROS-analyser og planbeskrivelse.

På kommuneplannivå kan kommunen velge å markere alle områder med marine avsetninger som aktsomhetsområder for kvikkleire, og fastsette hensynssoner med bestemmelser for disse. Dette avklares med kommunen. Mulige utløpsområder som ev. strekker seg utenfor områder med marine avsetninger må da inkluderes i aktsomhetsområdene.

✓ *Mulig leveranse: Kart som viser områder med marine avsetninger (inkl. mulige utløpsområder som strekker seg utenfor disse) med kort beskrivelse hvordan områdene er identifisert og avgrenset. Dersom det med stor sannsynlighet ikke er marine avsetninger som kan være skredfarlig i planområdet: notat som begrunner dette.*

4. Undersøk om det finnes kartlagte faresoner for kvikkleireskred i området.

Store faresoner med klassifisert skredfare som er kartlagt i den nasjonale kartleggingen finnes på www.skrednett.no. Faresoner kan også være identifisert i forbindelse med annen kartlegging og grunnundersøkelser. Allerede kartlagte avmerkes på grunnlagskartet.

Faresoner som er avgrenset i den nasjonale kartleggingen omfatter bare områder med mulig fare for store områdeskred og bare løsneområder. Områdene langs strandsoner er dessuten mangelfullt kartlagt. For å få en komplett oversikt over aktsomhetsområder må en også i områder som er omfattet av den nasjonale kartleggingen undersøke om det finnes andre faresoner, i samsvar med punktene under.

5. Avgrens aktsomhetsområder til terreng som tilsier mulig fare for områdeskred.

Terrenganalyser av områder med marine avsetninger vil gi grunnlag for å begrense aktsomhetsområdene til områder der topografien gir muligheter for områdeskred.

Følgende terrengkriterier vil fange opp områder der det kan gå områdeskred:

- Jevnt hellende terreng brattere enn 1:20 og total skråningshøyde > ca. 5 m.
- I platåterreng: høydeforskjeller på 5 m og mer, inkl. dybde til elvebunn/fot marbakke.
- Maksimal bakovergripende skredutbredelse = 20 x skråningshøyde, målt fra fot skråning/marbakke/bunn ravine.

Terrenganalyser etter disse konservative kriteriene nyttes som grunnlag for å avgrense områder for videre utredning etter punktene under. Slike terrenganalyser vil avkrefte områdeskredfare i deler av områdene med marine avsetninger, og dermed avklare skredfare både på regulerings- og kommuneplannivå. En gjennomgang av eksisterende grunnundersøkelser i og rundt det aktuelle planområdet vil indikere hvor det kan finnes sprøbruddmaterialer. Dette vil gi muligheter for ytterligere begrensning av aktsomhetsområdene.

Resultatet kan nyttes som grunnlag for å avgrense aktsomhetsområder. Forutsetningen er at også aktuelle utløpsområder der skredmasser kan gjøre skader er vurdert og inkludert i aktsomhetsområdene. En nøyere undersøkelse i form av befaring og grunnundersøkelser (pkt. 6-7) vil som regel føre til at kartlagte aktsomhetsområder innsnevres eller faller bort.

- ✓ *Mulig leveranse: Kart som viser mulige løsneområder avgrenset etter terrenganalyser av områder med marine avsetninger (etter kriteriene ovenfor), og sannsynlige utløpsområder (med egen skravur), med tilhørende rapport som begrunner avgrensningen.*

6. Gjennomføring av befaring og grunnundersøkelser/vurdering av grunnlag

Befaring er nødvendig for å få oversikt over lokale forhold som har betydning for avgrensning av mulige løsneområder (oppstikkende fjell, terrenginngrep, erosjonsforhold og lignende), og for planlegging av grunnundersøkelser. I noen tilfeller vil geotekniske fagkyndig ved befaring kunne avkrefte muligheter for områdeskred.

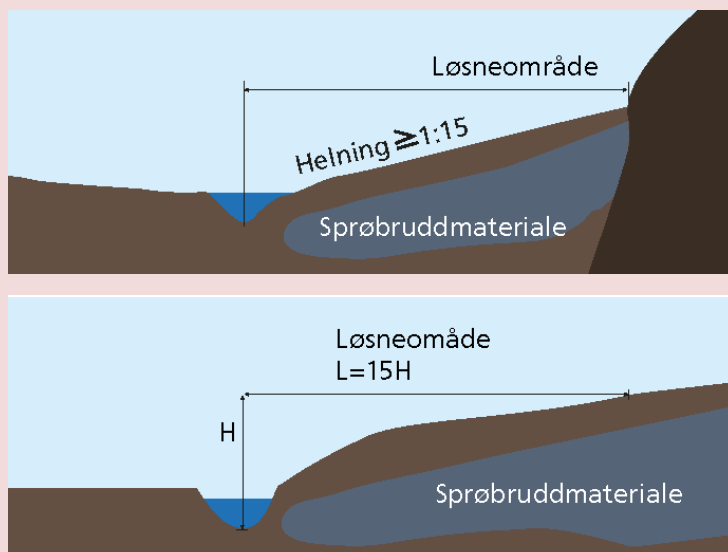
Der det ikke finnes data fra eksisterende grunnundersøkelser gjennomføres slike for å få kunnskap om forekomst av kvikkleire/sprøbruddmateriale og for å få grunnlag for faregradsklassifisering. Omfanget av undersøkelsene avhenger av ønsket kvalitet på utredningen (nøyaktighet på avgrensning av faresonene).

Dersom befaringen bekrefter at terrengforholdene tilsier mulig fare for områdeskred, er det en minimumsløsning å utføre en eller to dreietrykksonderinger plassert strategisk i sonene som er avgrenset i pkt. 5. Som et minimum anbefales: I jevnt hellende terreng plasseres boringen(-e) midt i skråningen og føres ned til en dybde tilsvarende skråningens totale høydeforskjell. I platåterreng utføres boringen(-e) inne på platået i en avstand fra skråningstopp lik 1,5x høyden på skråningen. Boringen(-e) føres ned til en dybde lik 1,5 x skråningshøyden. Dette vil avdekke eventuell kvikkleireforekomst av noe utstrekning som ligger i et kritisk nivå med hensyn til skredfare. Et større antall sonderinger vil gi økt nøyaktighet på avgrensningen av aktsomhetsområdet. Totalsondering kan erstatte dreietrykksondering i tilfeller der det er praktisk nødvendig for å komme gjennom faste lag.

- ✓ *Mulig leveranse: Notat som dokumenterer at det ikke er muligheter for områdeskred som følge av lokaltopografi, terrengtiltak, kunnskap fra tidligere/nye grunnundersøkelser o. a.*

7. Avgrens løsneområder mer nøyaktig

Data fra grunnundersøkelsene, befaringsrapport og en detaljert vurdering av topografi gir grunnlag for å avgrense mulige løsneområder nærmere. Supplerende grunnundersøkelser kan være nødvendig. Det forutsettes at dette utføres av geoteknisk fagkyndig. Geotekniker vil i sin analyse kunne vurdere de lokale forholdene og bruke mindre konservative terrengkriterier enn de som er nevnt i punkt 5, og dermed innsnevre løsneområdene i forhold til de som er nevnt der. Empiriske data tyder på at de aller fleste løsneområder for kvikkleireskred begrenser seg til en terrenghelning større enn 1:15 for jevnt hellende terreng og maksimal utstrekning lik 15 ganger skråningshøyde i ravinert terreng (ref. /6/), se figur 4.1. Dette er brukt som kriterier i den nasjonale kartleggingen (ref. /2/). Det gjøres oppmerksom på at det er diskutert om disse kriteriene er konservative nok for de aller største skredene (ref. /22/).



Figur 4.1 Typiske kriterier for opptegning av faresonens løsneområder

8. Vurder og avgrens sannsynlige utløpsområder for skredmasser.

Når skredfarlige løsneområder er identifisert og avgrenset i samsvar med pkt. 7, må en vurdere og avgrense sannsynlige utløpsområder for skredmasser som kan utgjøre fare. Også skredmasser fra mulige løsneområder som ligger utenfor planområdet vurderes.

Det finnes i dag ikke noen god, dokumentert metode for beregning av utløpsområder ved områdeskred. Vurderingen må derfor bygge på faglig skjønn og erfaringsmateriale (ref. /6/, /25/, /26/, /27/). Utløpsområdet vurderes og avgrenses ut fra følgende faktorer:

- Volum på skred som kan forekomme fra identifiserte løsneområder.
- Sannsynlige dreneringsveier og avsetningsområder for skredmasser med dette volumet, inkludert effekt av lokale topografiske forhold og ev. andre fysiske hindringer.

Sannsynlige utløpsområder for skredmasser markeres på grunnlagskart. Det er ikke maksimalt utløp for skredmassene som skal avgrenses, men områder der skredmassene har en slik mektighet, konsistens og/eller kraft at de kan utgjøre fare for vesentlig skade på byggverk og/eller fare for menneskeliv.

Sekundæreffekt i form av fare for oppdemning og ev. flodbølge/flom utredes særskilt der slik fare er mulig. Dette er ikke nærmere beskrevet i denne veilederen.

9. Avgrens og faregradsklassifiser faresoner

Sannsynlige løsne- og utløpsområder avgrenset i samsvar med punktene foran tegnes inn på kart som faresoner. Løsne- og utløpsområder gis hver sin skravur. Faresoner langs strender klassifiseres på samme måte som øvrig terreng, men det kan være behov for batymetriske dybde data for å få oversikt over undervannstopografien (ref. /30/).

Områdene plasseres deretter i faregradsklasser etter kriteriene i ref. /2/. Mulig erosjon i eller inn mot faresoner må vies særlig oppmerksomhet. Utløpsområdene gis samme faregrad som løsneområdet. Også klassifiserte faresoner fra tidligere kartlegging gjennomgås på nytt, bl.a. på grunnlag av data fra nye grunnundersøkelser.

Tabell for evaluering av faregrad, fra ref. /2/. 0-17 poeng gir lav faregrad, 18-25 poeng gir middels og 26-51 poeng høy faregrad.

Faktorer	Vekttall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde, meter	2	>30	20–30	15–20	<15
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0–1,2	1,2–1,5	1,5–2,0	>2,0
Poretrykk. Overtrykk, kPa:	3	> +30	10–30	0–10	Hydrostatisk
Undertrykk, kPa:	-3	> -50	-(20–50)	-(0–20)	
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2–H/4	<H/4	Tynt lag
Sensitivitet	1	>100	30–100	20–30	<20
Erosjon	3	Aktiv/glidn.	Noe	Lite	Ingen
Inngrep: Forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		51	34	17	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

- ✓ *Leveranse: Kart som viser faregradsklassifiserte faresoner (løsne- og utløpsområder med ulik skravur), med rapport som begrunner avgrensningene og gir geotekniske data for hvert område. Matrise for beregning av faregrad skal inngå. Graden av nøyaktighet beskrives, herunder begrensninger som følge av omfang av grunnundersøkelser. Avgrensning og faregrads-evaluering som skal legges til grunn for arealplanlegging og byggesak og kvalitetssikres i samsvar med tabell 5.2.*

10. Stabilitetsvurdering. Dokumentasjon av tilfredsstillende sikkerhet

Dersom planen innebærer tiltak innenfor avgrensede faresoner, og tiltakene tilhører tiltakskategorier der det forutsettes utredning av og krav til områdestabilitet (se tabell 5.2), gjennomføres stabilitetsanalyser i samsvar med kapittel 6 og 7. Nødvendige supplerende grunnundersøkelser gjennomføres først. Analysemetoder samt bestemmelse av fasthetsparametre er omhandlet i kapittel 6 og 7. Prosentvis forbedring i samsvar med tabell 5.2 og figur 5.1 dokumenteres ved stabilitetsberegninger før og etter utbygging, ev. dokumenteres det at sikkerhetsfaktoren er lik eller større enn 1,4. Nødvendige stabilitetsforbedrende tiltak skisseres og beskrives.

- ✓ *Leveranse: Utredningsrapport, se vedlegg 1. Rapporten skal dokumentere at området er tilstrekkelig sikkert, hvis ikke: hvordan tilfredsstillende sikkerhet vil oppnås med stabiliserende tiltak. Ved bruk av prosentvis forbedring dokumenteres sikkerhetsfaktor før og etter forbedrende tiltak. Det beskrives hvordan stabiliserende tiltak skal gjennomføres, med ev. kostnadsestimat. Rapporten kvalitetssikres i samsvar med tabell 5.2.*

4.6 Andre forhold ved utredning av områdestabilitet

I tillegg til de geotekniske parametre som inngår i stabilitetsanalyser, er det viktig å vurdere om terrengforhold og kvikkleiras tykkelse og beliggenhet er slik at det kan oppstå et initialskred som kan forplante seg inn i sprøbruddmateriale (glideflater som kan gå ned i sprøbruddmateriale), og om skredmassene har utløpsmuligheter. Dersom disse betingelsene er til stede kan det være fare for et områdeskred. Geoteknisk skjønn må brukes tidlig i utredningen for å bestemme dette.

Pågående erosjon er en kritisk faktor som må vurderes særskilt. Erosjon har stor betydning for muligheten for initialskred og er derfor en viktig faktor både i faregradsevalueringen og i vurdering av stabiliserende tiltak.

Hvordan påvirkes områdestabiliteten i en leirskråning?

Områdestabiliteten i en naturlig skråning påvirkes negativt dersom

- de drivende kreftene langs en glideflate øker, uten at motstanden mot glidning øker tilsvarende, eller ved at
- motstanden mot glidning svekkes uten at de drivende krefter reduseres tilsvarende.

Motsatt: Stabiliteten påvirkes positivt dersom de drivende krefter langs glideflaten reduseres, eller dersom motstanden mot glidning øker.

Eksempler:

De drivende kreftene øker dersom en naturlig skråning utsettes for:

- Oppfylling eller annen terrengbelastning på toppen av/øvre del av skråningen.
- Vannfylte sprekker i tørrskorpa grunnet langvarig nedbør.

Motstanden mot glidning svekkes når:

- Terrengtet i nedre del av skråningen eller foran skråningsfoten senkes ved utgraving eller erosjon.
- Grunnvannstanden eller poretrykket langs glideflaten øker.
- Fastheten i grunnen svekkes pga. rystelser/vibrasjoner (ref. /29/).

De drivende kreftene avtar dersom:

- Skråningen slakes ut eller terrengtet øverst i skråningen senkes (nedplanering).

Motstanden mot glidning øker hvis:

- Terrengtet foran skråningsfoten og i nedre del av skråningen heves ved oppfylling.
- Grunnvannet eller poretrykket langs glideflaten senkes (dreneres).
- Fastheten i grunnen økes ved kjemisk stabilisering (salt) eller grunnforsterkning (kalk/sement).

Dersom flere faktorer innvirker på stabilitetsforholdene samtidig (både negative og positive), må resultatet beregnes og vurderes.

5 Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot områdeskred

5.1 Generelt

Tilfredsstillende sikkerhet ved utbygging i områder med fare for kvikkleireskred kan oppnås enten ved å tilfredsstillende en minste sikkerhetsfaktor for områdestabilitet etter utbygging, eller ved å dokumentere at en vil oppnå ”ikke forverring”, ”forbedring” eller ”vesentlig forbedring” av stabiliteten ved situasjonen etter utbygging i forhold til situasjonen før utbygging/opprinnelig situasjon. Sikkerheten mot skred må også ivaretas i byggefasen.

Kravene til utredning og sikkerhet er avhengig av tiltakskategori, for tiltakskategori K2, K3 og K4 også av faresonens faregrad. Ved arealplanlegging bestemmes tiltakskategori for tiltak som inngår i planen av planlegger i samarbeid med den geoteknisk fagkyndige. Kommunen skal påse at tiltaket har riktig tiltakskategori og fastsetter denne endelig i sin behandling. I byggesak er det ansvarlig prosjekterende for geoteknikk som fastsetter tiltakskategori.

Tiltakskategori bestemmes av tiltakets påvirkning på områdestabiliteten og av konsekvensene ved skred. Konsekvensene er avhengig av tiltakets størrelse og verdi samt i hvilken grad tiltaket vil medføre tilflytning av personer. Ved planlegging av flere nye byggverk i en sone er det den samlede konsekvensen for nybyggene som avgjør tiltakskategori.

Beskrivelsen av tiltakskategoriene med eksempler gir ikke fullstendig svar på hvilken tiltakskategori et tiltak vil tilhøre, det må i tillegg brukes faglig skjønn. Det kan være grunn til å plassere tiltaket i en høyere tiltakskategori dersom et skred kan gi alvorlige konsekvenser for omkringliggende bebyggelse, f.eks. hvis tiltaket er i tettbygd strøk.

Tabell 5.1 og tabell 5.2 angir hva som må utredes og hvordan en kan oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot kvikkleireskred for de ulike tiltakskategorier og faregradsklasser. For prosjektering av lokalstabilitet følges gjeldende standarder.

Det forutsettes følgende for bruk av geoteknisk fagkyndig i tiltakskategoriene:

- Tiltakskategori K0: Det fremgår av veilederen ”*Veiledning ved små inngrep i kvikkleiresoner*” (ref. /8/) når tiltaket bør vurderes av geoteknisk fagkyndig av hensyn til skredsikkerhet.
- Tiltakskategori K1: Geoteknisk fagkyndig som kan bli godkjent for tiltaksklasse 1 etter plan- og bygningslovgivningen.
- Tiltakskategori K2, K3 og K4: Geoteknisk fagkyndig godkjent som prosjekterende og utførende for tiltaksklasse 3 etter plan- og bygningslovgivningen innen fagområdet geoteknikk. Dokumentert erfaring i å utføre vurderinger av områdestabilitet i samsvar med denne veilederen anbefales.

5.2 Krav til utredning og sikkerhet for ulike tiltakskategorier

Kravene under er i samsvar med veiledningen til TEK 10. Det er i tillegg gitt anbefalinger om kvalitetssikring. Tabellene 5.1 og 5.2 viser hva som må gjennomføres og dokumenteres for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet for de ulike tiltakskategorier. For tiltakskategori K2, K3 og K4 er det nødvendig å identifisere, avgrense og faregradsevaluere faresoner. Dette er ikke nødvendig for tiltakskategoriene K0 og K1. Aktiv erosjon kan utløse skred og må derfor vies særlig oppmerksomhet. Hvis aktiv erosjon forekommer skal den hindres for kategori K1-K4.

Tabell 5.1 Tiltakskategorier for begrensede tiltak der det ikke er nødvendig å identifisere, avgrense eller faregradsevaluere faresoner. Det er en forutsetning at tiltak i disse kategoriene ikke påvirker områdestabiliteten negativt i noen faser, og at det ikke er behov for stabiliserende tiltak (utenom selve tiltaket).

Tiltakskategori. Type tiltak som inngår i tiltakskategorien	Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet
K0: Mindre byggverk og anlegg som medfører svært begrensede terrenginngrep eller laster og ingen tilflytning av personer. Eksempler er enkle garasjer, naust eller uthus som ikke er beregnet for tunge gjenstander eller kjøretøyer som vil gi betydelige terrenglaster, mindre veger som ikke medfører utfyllinger i toppen av skråninger eller skjæringer i bunnen av skråninger (eks. skogsbilveger og gårdsveger), mindre grøfter og lignende, mindre tilbygg og påbygg på eksisterende bebyggelse.	Tiltak skal følge anbefalinger i <i>Veiledning ved små inngrep i kvikkleiresoner</i>. (NGI-rapport 2001008-62, ref. /8/).
K1: Byggverk, terrenginngrep og anlegg av begrenset størrelse og tyngde (inkludert inventar) med lite personopphold. Selve tiltakene kan utføres med lette masser for å oppnå at stabiliteten ikke forverres. Eksempler er mindre driftsbygninger i landbruket og lagerbygg av begrenset verdi, mindre massedepotier, lokale VA-anlegg, private og kommunale veger og trafikksikkerhetstiltak, slik som gang- og sykkelveger, over- og underganger, tiltak i forbindelse med anlegg av midtdeler og lignende.	Tiltaket skal ikke påvirke områdestabiliteten negativt. Ved tvil om dette skal tiltaket flyttes til K2. Erosjon som kan gi negativ påvirkning på stabiliteten i tiltaksområdet skal stoppes ved erosjonssikring. Vurdering av tiltakets virkning på områdestabilitet kvalitetssikres av kollega.

Tabell 5.2 Tiltakskategorier der det er nødvendig å identifisere, avgrense og faregradsevaluere hele faresonen.

Tiltakskategori. Type tiltak som inngår i tiltakskategorien	Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet for ulike faregrad		
	Faregrad før utbygging: Lav	Faregrad før utbygging: Middels	Faregrad før utbygging: Høy
K2: Tiltak som er nevnt under kategori K1 når tiltaket vil påvirke stabiliteten negativt dersom det ikke gjennomføres stabiliserende tiltak utenom selve tiltaket. Dersom tiltaket medfører tilflytting av personer skal tiltaket plasseres i tiltakskategori K3 eller K4.	a) Stabilitetsanalyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ <i>eller</i> b) Ikke forverring ** Kvalitetssikres av kollega.*		Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ <i>eller</i> b) Ikke forverring hvis $F > 1,2$, <i>eller</i> c) Forbedring hvis $F \leq 1,2$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*
K3: Tiltak som medfører tilflytting av personer med inntil to boenheter, begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi (utover tiltak i K0-K2). Ved planlagt større tilflytting/ personopphold gjelder K4. Eksempler er bolighus og fritidsbolig med inntil to boenheter, større driftsbygninger i landbruket, mindre utendørs publikumsanlegg, mindre næringsbygg, større VA-anlegg.	a) Stabilitetsanalyse som dokumenterer sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ <i>eller</i> b) Ikke forverring** Kvalitetssikres av uavhengig foretak*	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ <i>eller</i> b) Ikke forverring hvis $F \geq 1,2$, <i>eller</i> c) Forbedring hvis $F < 1,2$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ <i>eller</i> b) Forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*
K4: Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold enn tiltak i K3 samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner. Eksempler er mer enn to eneboliger/fritidsboliger, rekkehus/boligblokk, bolig- og hyttefelt, skole og barnehage, sykehjem, større næringsbygg, kontorbygg, idretts- og industrianlegg, større utendørs publikumsanlegg, lokale beredskapsinstitusjoner.	Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ <i>eller</i> b) Forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*		Stabilitetsanalyse som dokumenterer: a) Sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ <i>eller</i> b) Vesentlig forbedring hvis $F < 1,4$, se figur 5.1. Kvalitetssikres av uavhengig foretak*

* Se kapittel 5.3.

** Det er ikke nødvendig med fullstendig utredning av sonen. Selve tiltaket kan utføres med et tilhørende stabiliserende tiltak for å oppnå "ikke forverring" av områdestabiliteten.

Kommentarer til kravene

For tiltak i tiltakskategori K0 er det tilstrekkelig at tiltakene av hensyn til skredsikkerhet utføres i samsvar med veilederen "*Veiledning ved små tiltak i kvikkleiresoner*" (ref. /8/).

For tiltakskategori K1 vil tilfredsstillende sikkerhet oppnås ved å dokumentere at tiltaket ikke forverrer områdestabiliteten. Dette kan oppfylles uten identifisering/ faregrads-evaluering eller fullstendig utredning av faresonen. Dersom stabiliteten vil bli forverret av tiltaket flyttes tiltaket til tiltakskategori K2.

For de øvrige tiltakskategorier (K2, K3 og K4) er det nødvendig først å identifisere, avgrense og faregradsevaluere faresoner i samsvar med beskrivelsen punkt 5-9 i kapittel 4.5. Hvordan tilfredsstillende sikkerhet kan oppnås er avhengig av hvilken faregradsklasse faresonen tilhører.

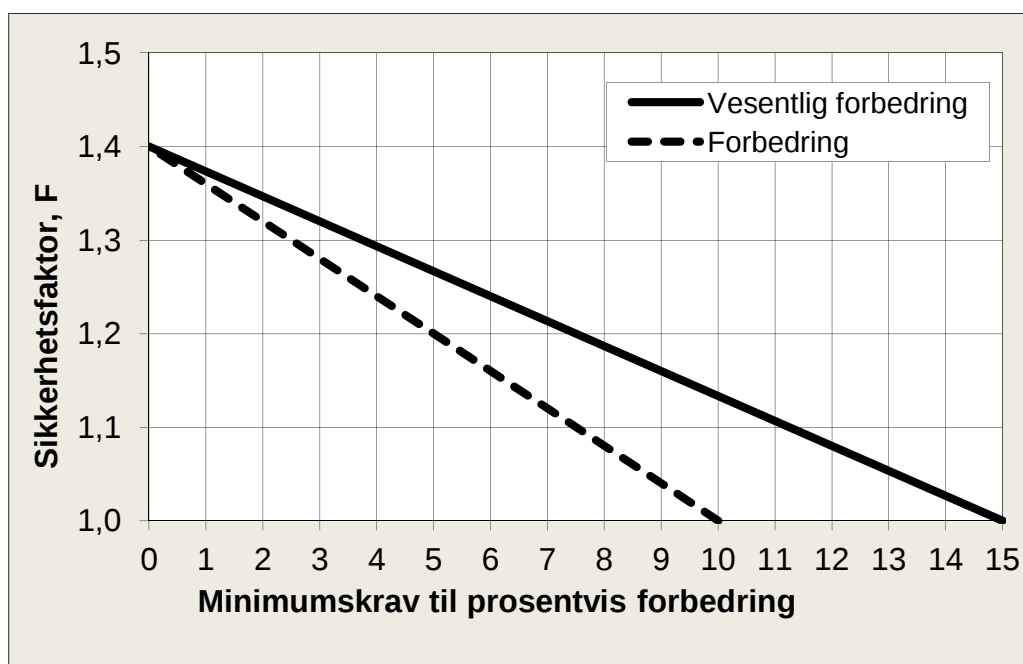
For tiltakskategoriene K2, K3 og K4 gjelder følgende for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet:

1. Dokumentert, beregnet sikkerhetsfaktor for områdestabilitet $F \geq 1,4$ etter tiltak, dersom en ikke velger metoden med prosentvis forbedring som fremgår av punkt 2-5 under. Dette betinger grunnundersøkelser og stabilitetsanalyser. Det er også en forutsetning at sikkerheten mot skred er ivaretatt i løpet av byggeprosessen.
2. Alternativt kan en dokumentere hvordan en ved terrengmessige tiltak ev. bruk av lette masser vil oppnå "*ikke forverring*", eller minimum prosentvis "*forbedring*" eller "*vesentlig forbedring*" av stabiliteten (beregnet sikkerhetsfaktor for situasjon etter utbygging i forhold til situasjonen før utbygging) i samsvar med tabell 5.2 og figur 5.1, se også punktene under.

For tiltak i K2 i soner med lav og middels faregrad, og for K3 i soner med lav faregrad, kan det være tilstrekkelig å oppnå "*ikke forverring*". Dette kan oppnås ved å gjennomføre stabiliserende tiltak som oppveier den negative påvirkningen tiltaket har på stabiliteten, uten å gjennomføre fullstendig utredning av områdestabilitet. Eksempler på hvordan forverring unngås: Utfylling på skråningstopp stabiliseres med motfylling i skråningsfoten. Forverring pga. graving i bunn av skråning oppveies med nedplanering (avlastning) av skråningstopp. Mindre tiltak med vekt som ikke kompenseres av utgravd kjeller stabiliseres med motfylling i skråningsfot.

Forutsetningen er at stabiliserende tiltak utføres før selve tiltaket, slik at stabiliteten ikke forverres i noen faser av byggeprosessen, eller at skredsikkerheten under utførelsen er tilstrekkelig ivaretatt ved andre forholdsregler. Detaljprosjektering av dette gjøres fortløpende i byggefasen.

3. For tiltak i K2 i faresoner med høy faregrad, og tiltak i K3 i faresoner med middels faregrad, må en gjennomføre soneutredning med stabilitetsanalyser. Dersom sikkerhetsfaktoren er mindre enn 1,2 må det gjennomføres tiltak som gir *forbedring*. Dersom sikkerhetsfaktoren er større eller lik 1,2 er det tilstrekkelig å dokumentere at det ikke blir forverring av stabiliteten.
4. For tiltak i K3 i soner med høy faregrad og for alle tiltak i K4, vil tilfredsstillende sikkerhet oppnås ved stabilitetsanalyse og "*forbedring*" eller "*vesentlig forbedring*", avhengig av faregradsklasse for sonen.



Figur 5.1 Krav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer eller bruk av lette masser.

Metoden med prosentvis forbedring kan bare nyttes ved å gjøre topografiske endringer og ved bruk av lette masser. Dersom man velger å bedre områdets stabilitet ved grunnforsterkningstiltak, må en oppnå beregningsmessig sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ etter at tiltaket er utført.

5.3 Kvalitetssikring av utredninger

Krav om ansvarsrett ved byggesøknader for prosjektering, utførelse og kontroll er gitt i pbl og saksbehandlingsforskriften (SAK 10). For arealplanlegging finnes ikke tilsvarende regler. I denne veilederen er begrepet *kvalitetssikring* nyttet i stedet for begrepet *kontroll*, for å tydeliggjøre at veilederen ikke erstatter kontrollkravene etter pbl og SAK 10. Kommunen kan etter SAK10 § 14-3 pålegge kontroll utover de obligatoriske kontrollkravene i § 14-2 (i byggesaker).

Anbefalingene om kvalitetssikring som er gitt i denne veilederen har som mål å sikre tilstrekkelig kvalitet på utredningen av områdestabilitet i forbindelse med både arealplanlegging, byggesøknader og prosjektering. Avgrensning og faregradsevaluering av faresoner har stor betydning for ivaretagelse av skredsikkerheten både for eksisterende og planlagt bebyggelse og for mulig fremtidig bebyggelse som foreløpig ikke er planlagt, både innenfor og utenfor faresonene. Det anbefales derfor at avgrensningen og faregradsevalueringen (punktene 1- 9 i prosedyren beskrevet i kapittel 4.5) kvalitetssikres av uavhengig foretak.

I tabellene 5.1 og 5.2 er det gitt anbefalinger om kvalitetssikring av utredninger for de ulike tiltakskategorier og faregradsklasser. De geotekniske vurderingene forutsettes utført av kvalifisert personell. Den prosjekterende har ansvar for å følge opp innspill fra den

uavhengige kvalitetssikringen og står ansvarlig for det endelige produktet. Ved uenigheter tas dette opp med oppdragsgiver og planmyndighet.

Kvalitetssikringen skal dokumentere at følgende utredninger i samsvar med veilederen har tilstrekkelig kvalitet, og omfatte følgende vurderinger:

- Om faresonen er korrekt avgrenset og klassifisert etter faregrad, og at rett tiltaks-kategori er valgt.
- Om utførte grunnundersøkelser gir tilstrekkelig grunnlag for de geotekniske vurderingene.
- Tolkingen av jordparametere basert på tilgjengelig informasjon.
- Vurdering av utførte stabilitetsanalyser inklusiv benyttede lagdelinger/parametre og regnemodeller, med enkle overslagsbetraktninger for grov stikkprøvekontroll (uten egne detaljerte stabilitetsanalyser på terrengmodellen).
- Om valgte kritiske profiler for stabilitetsanalyser er dekkende, og vurdering av konklusjoner og begrunnelser ut fra situasjon og beregningsresultater.
- Vurdering av nødvendighet/effekt av foreslåtte og/eller planlagte stabiliserende tiltak og prinsipp for utførelse av disse.

Gjennomført kvalitetssikring skal beskrives og dokumenteres.

For de utredninger og vurderinger som forutsettes kvalitetssikret av uavhengig foretak, anbefales det at den geotekniske fagkyndige oversender delleveranser til det uavhengige foretaket for effektiv prosjektframdrift. Dette kan f.eks. starte med kvalitetssikring av borplan og valgte kritiske profil. Ved større utredningsprosjekter kan det utarbeides delrapporter som kvalitetssikres undervegs. Ved en slik gjennomføring av kvalitets-sikringen kan mulige feil og mangler rettes opp på et tidlig stadium i prosjektet, og den endelige kvalitetssikringen blir enklere. Rapporter som blir sendt over til uavhengig foretak for kvalitetssikring må være kvalitetssikret av kollega.

Uavhengig foretak skal ikke fungere som en konsulent på samme nivå som den geoteknisk fagkyndige, men som rådgiver for tiltakshaver. Kvalitetssikringen skal normalt ikke bestå av selvstendige beregninger. Kommunen bør ikke godkjenne planer eller byggesøknader som ikke er kvalitetssikret i samsvar med anbefalingene i denne veilederen.

6 Grunnundersøkelser

6.1 Omfang og type

Hovedtyngden av grunnundersøkelsene vil normalt utføres i forbindelse med reguleringsplan. Dersom de ikke er utført på reguleringsplannivå, må de utføres i forbindelse med byggesaken. Grunnundersøkelsene i reguleringsplan skal som et minimum inneholde et tilstrekkelig antall sonderinger (for eksempel dreietrykk- eller totalsonderinger) til å bestemme lagdeling i området samt utstrekning av evt. sprøbruddmateriale. Videre skal det foretas bestemmelse av jordas mekaniske egenskaper (for eksempel ved trykksonderinger, prøvetaking og/eller vingeboringer).

Tolkning av lagdeling og forekomster av sprøbruddmateriale basert på dreietrykksonderinger og totalsonderinger er beskrevet i NGF melding nr 7 (Dreietrykksondering), ref. /14/.

Poretrykksforholdene skal bestemmes på minimum én sentral lokalitet i hver faresone. Det skal derfor installeres poretrykksmålere i minimum to nivåer på hver lokalitet.

Inhomogene grunnforhold vil betinge mer detaljerte undersøkelser enn homogene forhold. Dette vil gjelde både for kartlegging av lagdeling og utstrekning av sprøbruddmateriale, for bestemmelse av fasthetsparametre og for poretrykksforhold. Likeledes vil områder der de topografiske forholdene er varierende, betinge mer grunnundersøkelser enn områder med en ensartet topografi.

6.2 Kvalitet

Grunnundersøkelsene skal utføres i henhold til NGF meldinger nr. 3, Dreiesondering (ref. /10/), nr. 4, Vingeboring (ref. /11/), nr. 5, Trykksondering, CPTU (ref. /12/), nr. 6, Grunnvannstand og poretrykk (ref. /13/), nr. 7, Dreietrykksondering (ref. /14/), nr. 9, Totalsondering (ref. /15/) samt Statens vegvesen, håndbok 015, Feltundersøkelser (ref. /17/).

Kvaliteten på trykksonderinger (CPTU) som skal benyttes til bestemmelse av fasthetsparametre, skal tilfredsstillende anvendelsesklasse 1 i samsvar med kap. 5 i ref. /12/. Dersom en lavere anvendelsesklasse oppnås, skal kvaliteten av tolkede materialegenskaper vurderes ut fra dette.

Prøver som det utføres laboratorieundersøkelser på skal være av god kvalitet. Det bør bl.a. tilstrebes at prøvene skal tilfredsstillende høyeste kvalitetsklasse, "Veldig god til utmerket" i tabell 6 i NGF melding nr. 11, ved utførelse av treaksialforsøk. Det vises forøvrig til kap. 4.5 i NGF melding nr. 11 (ref. /16/) vedrørende vurdering av prøvekvalitet samt Eurokode 7 (ref. /18/). Det påpekes at valg av designparametere for stabilitetsberegninger må vurderes på bakgrunn av oppnådd prøvekvalitet. Hvis kvaliteten er for dårlig må det vurderes mer avansert prøvetaking.

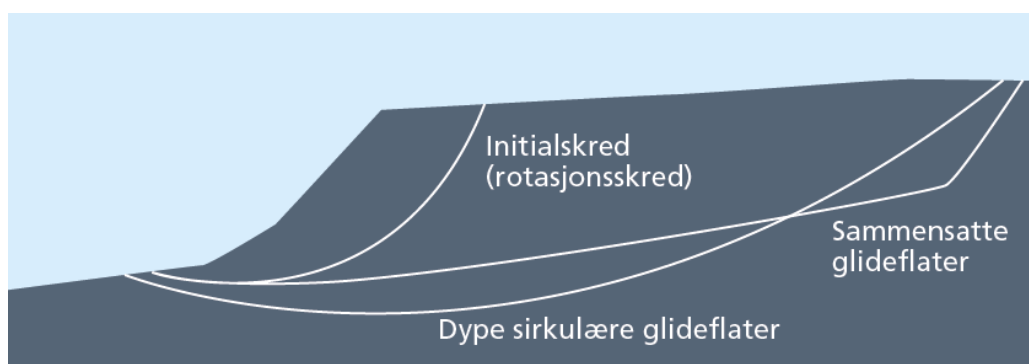
Arbeidet skal utføres av kvalifisert personell med dokumentert kunnskap og praksis i feltarbeid.

7 Stabilitetsvurderinger

7.1 Vurdering av skredtyper

Aktuelle skredtyper som kan forekomme i områder med sprøbruddmateriale er vist i kapittel 3.

For å kunne vurdere aktuelle skredtyper for områdestabilitet må alle antatt kritiske profiler i faresonen vurderes med lagdeling av forskjellige jordarter. Formålet med dette er å vurdere om sprøbruddmaterialet har en slik beliggenhet at et områdeskred kan oppstå. Det skal utføres stabilitetsanalyser for alle skredtyper som er vurdert å være aktuelle. Eksempel på glideflater som kan beregnes er dype glidesirkler, sammensatte glideflater og sirkulære glideflater i skråningsfot (initialskred som fører til områdeskred). Geoteknisk skjønn må utøves for å vurdere hvilke av disse glideflatene som skal beregnes.



Figur 7.1 Eksempler på ulike typer glideflater.

7.2 Materialparametre

Jordas karakteristiske fasthetsparametre bestemmes som forsiktig anslåtte middelerverdier.

Det forutsettes at man har oppnådd kvalitetsklasse 1 på forsøkene utført i laboratoriet, eller gjort en vurdering om kvalitetsinnvirkning på tolkede fasthetsparametre, ref. kap. 6.2. Ved valg av karakteristiske fasthetsverdier, skal de målte fasthetene fra aktive og passive triaksialforsøk samt fra eventuelle direkte skjærforsøk (DSS) tas ut ved samme tøyning for samtlige jordlag (prinsippet om tøyningsskompatibilitet). Normalt gjøres dette ved den tøyning som gir den høyeste summen fra aktive-, passive- og DSS-forsøk.

Dersom man kun har resultater fra aktive triaksialforsøk, skal valg av anisotropiforhold ta hensyn til kravet om tøyningsskompatibilitet. Ref. /19/ beskriver prinsippet om tøyningsskompatibilitet nærmere, samt angir målte verdier for anisotropiforhold. Det bemerkes at disse anisotropiforholdene ikke tar hensyn til prinsippet om tøyningsskompatibilitet, og heller ikke til anbefalingen om å redusere maksimalt målt eller utledet aktiv skjærfasthet fra blokkprøver, se under. Bruk av anisotropiforhold i stabilitetsberegninger i sprøbruddmaterialer er oppsummert i ref. /28/.

Dersom planlagte terrengendringer vil medføre en vesentlig endring i effektivspenningsnivået, skal dette tas hensyn til ved valg av skjærfasthet. Videre skal man ved valg av fasthetsparametre ta hensyn til tidsaspekter og tøyingsnivå.

Når man utfører treaksialforsøk på blokkprøver, ser man spesielt på de aktive forsøkene en utpreget sprøbruddoppførsel, selv på lav-sensitive leirer. Udrenert skjærfasthet er dessuten avhengig av belastningshastigheten eller tiden til brudd. Når man legger korrelasjoner mot blokkprøver til grunn for dimensjonering, må det derfor vurderes om mulige effekter av sprøbrudd og tidseffekter bør tas spesielt hensyn til, noe som ikke har vært vanlig når man baserer seg direkte på vanlige 54 mm-prøver. Fasthetsparametre bestemt ved den maksimalt målte aktive skjærfastheten ("peak-styrken") fra blokkprøver anbefales derfor normalt redusert med 15 %, ref. /19/.

Ved utledning av karakteristisk udrenert aktiv skjærfasthet fra trykksonderinger (CPTU) henvises det til anerkjente korrelasjoner mellom trykksonderinger og laboratorieforsøk på blokkprøver (uten 15 % fasthetsreduksjon), for eksempel ref. /19/, /20/ og /21/. Også her anbefales det at man reduserer den dimensjonerende aktive skjærfastheten med 15 % i meget sensitive/kvikke leirer (sprøbruddmateriale).

Tolkning av vingeboringer med hensyn på skjærfasthet og sensitivitet er beskrevet i ref. /11/, herunder også korreksjon av målte verdier.

Ved bestemmelse av poretrykkene i bakken skal det tas hensyn til eventuelle årstidsvariasjoner og effekt av ekstremnedbør over tid.

7.3 Analysemetoder

Sikkerheten mot utglidning av en skråning skal bestemmes både for dagens situasjon med drenert jordoppførsel, og for hendelser som kan medføre udrenert jordoppførsel og bruddutvikling. Oppfylling, erosjon eller annen utgraving i skråning samt ekstrem nedbør er eksempler på hendelser som kan medføre udrenert jordoppførsel og bruddutvikling.

Dagens drenerte tilstand eller en endring som er kritisk etter lang tid, for eksempel en utgraving, analyseres med en drenert ϕ -analyse, mens udrenert tilstand analyseres med en udrenert c_u -analyse. Den udrenerte tilstanden kan også, i tillegg, analyseres med en udrenert ϕ -analyse. Det må i tilfelle tas behørig hensyn til poretrykkoppbygging for de potensielle bruddtyper, samt tas hensyn til anisotropi og sprøbruddoppførsel, tilsvarende som ved c_u -analysen (jf. kapittel 7.2).

Tørreskorpelaget og forvitringssonen skal modelleres som et drenert ϕ -materiale, enten man ser på drenert eller udrenert tilstand. I tørreskorpelaget må da et realistisk grunnvannsnivå modelleres, samt at man må vurdere hvorvidt man kan ha vannfylte sprekker.

Vanligvis bestemmes sikkerhetsfaktor mot utglidning av skråninger ved bruk av beregningsprogrammer som er basert på grenselikevektsmetoden, for eksempel en versjon av lamellemetoden. Alternativt kan man også benytte ulike versjoner av program basert på elementmetoden. Benyttede parametre i beregningen må komme tydelig fram i rapport/figurer.

Beregning av skjærtøyninger langs kritisk glideflate kan i visse tilfeller gi nyttig tilleggsinformasjon for vurdering av faren for skred. På den måten kan man sammenligne beregnet tøyningnivå med spennings-/tøyningsskurver fra gode triaksialforsøk, og dermed få en formening om hvor man ligger på tøyningsskurven i forhold til maksimal fasthet

(”peak-styrke”). I slike tilfeller utføres deformasjonsanalyser, for eksempel basert på elementmetoden. I disse analysene er jordstivhet og relativ stivhet mellom ulike jordlag av betydning for resultatet, i tillegg til de faktorene som inngår i forbindelse med stabilitetsanalyser med grenselikevektsmetoden.

7.4 Beregninger og resultat

Bakgrunnen for at det tillates å bruke prosentvis forbedring for å tilfredsstille sikkerheten er det faktum at dagens situasjon opplagt har en sikkerhet mot utglidning på minst 1,0, siden skråningen står. Den forbedringen av beregnet sikkerhet man da oppnår ved tiltaket, er dermed reell (i motsetning til den absolutte beregnede sikkerheten, som er beheftet med usikkerhet i de valgte fasthetsparametrene).

Dersom beregnet sikkerhetsfaktor før utbygging blir under 1,0, må beregningsforutsetningene revurderes og nye beregninger utføres slik at beregnet sikkerhetsfaktor før utbygging blir tilnærmet lik 1,0. Slike revurderinger må ikke innebære en ukritisk oppjustering av fasthetsparametre, som dermed brukes videre i beregningen, men ved en helhetlig vurdering av stabilitetssituasjonen.

Dersom stabilitetsvurderinger, basert på konservative og relativt enkle bestemmelser av sprøbruddmaterialets fasthet, viser lavere sikkerhet enn kravene gitt i tabell 5.2, skal det utføres mer detaljerte analyser av sikkerheten mot utglidning. Slike analyser vil betinge at det utføres mer avanserte felt- og laboratorieforsøk for bestemmelse av jordas egenskaper. Dette omfatter bestemmelse av både drenerte og udrenerte parametre, avhengig av hvilke bruddtyper som er vurdert å være relevante. Om de innledende, enkle analysene viser tilfredsstillende stabilitet er det ikke nødvendig å gå videre med detaljerte analyser. Det må imidlertid i denne sammenheng vært gjort en betraktning om aktuelle bruddtyper som kan oppstå.

Det er normalt tilstrekkelig å sammenligne den mest kritiske glideflaten før tiltak med den mest kritiske glideflaten etter tiltak. I enkelte tilfeller kan det likevel være nødvendig å se på økning i sikkerhetsfaktorer for flere alternative glideflater (se figur 7.1) som vurderes av geotekniker som realistiske for utløsning av skred. Behovet for slike analyser må vurderes for hvert enkelt tilfelle. Glideflater som får en forverring som følge av tiltaket skal ikke ha en beregnet sikkerhetsfaktor mindre enn 1,4.

8 Stabiliserende tiltak

Dersom analysene viser at det er behov for stabiliserende tiltak, jf. krav til beregningsmessig sikkerhet/forbedring i kapittel 5, skal aktuelle tiltak vurderes og beskrives. Slike tiltak kan være erosjonssikring, stabiliserende fyllinger, heving av elve-/bekkeleie, bakkeplanering, utslaking av bratte partier, drenering i bratte skråninger, grunnforsterkning, bruk av lette masser, beplantning/vegetasjon og lignende. Det skal dokumenteres at de valgte tiltakene vil gi tilfredsstillende sikkerhet for området. Anleggskontroll skal planlegges og gjennomføres i et omfang som beskrevet i Eurokode 7 (ref. /3/). Tilfredsstillende sikkerhet mot områdeskred skal være vurdert for alle faser av utbyggingen, i tillegg følges krav til lokalstabilitet i samsvar med gjeldende standarder.

Metoden med prosentvis forbedring kan bare nyttes ved å gjøre topografiske endringer og/eller ved bruk av lette masser. Dersom en velger å bedre områdets stabilitet ved å benytte tiltak som grunnforsterkning, gjelder kravet om at beregningsmessig sikkerhetsfaktor (F) er større enn 1,4 etter at tiltaket er utført.

Under gjennomføring av stabiliserende tiltak må det utvises stor aktsomhet, og sikkerheten mot skred skal ivaretas i alle faser av anleggsarbeidet.

9 Rapportering av soneutredninger

Forslag til innhold i en fullstendig soneutredning er gitt i vedlegg 1.

Det er ønskelig at alle nye og reviderte faresoner rapporteres inn til NVE for å oppdatere www.skrednett.no. NVE ber om at rapportering av soneutredninger gjøres ved å fylle ut skjema i vedlegg 2 og sende dette med utredningsrapporter elektronisk til NVE. Følgende rapporteres:

- Rapport med fullstendig soneutredning i pdf-format (se innholdsforslag i vedlegg 1).
- Datarapporter fra grunnundersøkelsene.
- Rapport fra uavhengig kvalitetssikring for de tiltakskategoriene/faregradene dette er anbefalt.

Det er ønskelig at soneutredningen også omfatter konsekvens- og risikoklassifisering etter metoden gitt i ref. /2/.

10 Tiltak i sikrede soner

Dersom utbyggingen i et skredutsatt område skal skje i flere etapper og over en lengre periode (flere år), skal situasjonen før første utbyggingsetappe legges til grunn som "før-situasjonen" ved vurdering av prosentvis forbedring ved tiltak i senere utbyggingsetapper. Det må dokumenteres at tidligere utførte stabiliserende tiltak oppfyller kravene til prosentvis forbedring for aktuelle tiltak (avhengig av hvilke tiltakskategorier de tilhører). Soner der en har oppnådd en sikkerhetsfaktor $\geq 1,4$ er tilstrekkelig sikre for utbygging (gjelder alle tiltakskategorier).

Forutsetningen er at tiltak i sonen ikke forverrer stabiliteten. Unntatt er soner med høyere sikkerhetsfaktoren enn 1,4, der det aksepteres en forverring ned til sikkerhetsfaktor 1,4.

For tiltaksklasse 2 og 3 i SAK10 § 9-4 må tiltakets påvirkning på områdestabiliteten dokumenteres av geoteknisk fagkyndig. For tiltak i tiltaksklasse 1 i SAK10 § 9-4 må dette dokumenteres av ansvarlig prosjekterende. Dokumentasjonen må vise at tiltak plassert på toppen av (ovenfor) en skråning blir utført med kompensert fundamentering (vekten av utgravde masser tilsvarer vekten av tiltaket), og at tiltak i bunnen av (nedenfor) en skråning ikke medfører utgraving i skråningen. Tiltak i tiltaksklasse 1 som er plassert på mark med helning mindre enn 1:15 og som er mer enn 2 x skråningshøyde fra skråningskant, anses ikke å ha påvirkning på områdestabiliteten i sikrede soner.

For alle tiltak som er plassert i en skråning i en faresone må tiltakets påvirkning av stabiliteten vurderes av geoteknisk fagkyndig, siden tiltak kan forverre stabiliteten både bakover og nedover.

11 Referanser

- /1/ TEK 10: FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift)
- /2/ NGI (2001): Program for økt sikkerhet mot leirskred - Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire. Rapport 20001008-2, Revisjon 3, datert 8. oktober 2008
- /3/ Eurokode 7 (2008): NS-EN 1997-1: 2004 + NA: Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler
- /4/ Forskrift for byggesak: SAK10. FOR-2010-03-26-488.
- /5/ Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser (bygggherreforskriften). FOR-2009-08-03-1028.
- /6/ Karlsrud, Aas & Gregersen (1984): Can we predict landslide hazards in soft sensitive clays? Summary of Norwegian Practice and Experience. Proc. of 4th International Symposium on Landslides, Toronto, 1984. Også utgitt i NGI-publikasjon 158, Oslo, 1985.
- /7/ Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven), PBL. LOV-2008-06-27-71.
- /8/ NGI-rapport 2001008-62: Veiledning ved små inngrep i kvikkleiresoner. *Tilgjengelig på www.nve.no.*
- /9/ NGF melding nr. 2: Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk. Identifisering og klassifisering av jord, utgitt 1982, rev. 2 2011.
- /10/ NGF melding nr. 3: Veiledning for utførelse av dreiesondering, utgitt 1982, rev. 1 1989.
- /11/ NGF melding nr. 4: Veiledning for utførelse av vinge boring, utgitt 1982, rev. 1 1989.
- /12/ NGF melding nr. 5: Veiledning for utførelse av trykksondering, utgitt 1982, rev. 3 2010.
- /13/ NGF melding nr. 6: Veiledning for måling av grunnvannsstand og poretrykk, utgitt 1982, rev. 1989.
- /14/ NGF melding nr. 7: Veiledning for utførelse av dreietrykksondering, utgitt 1982, rev. 1 1989.
- /15/ NGF melding nr. 9: Veiledning for utførelse av Totalsondering, utgitt 1994.
- /16/ NGF melding nr 11: Veiledning for prøvetaking, utgitt 1997, rev. 2014 (*på høring des. 2013*).
- /17/ Statens vegvesen: Håndbok 015, Feltundersøkelser, august 1997.
- /18/ Eurokode 7 (2008): NS-EN 1997-2: 2007 + NA: Geoteknisk prosjektering Del 2: Prosjektering basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver
- /19/ Karlsrud, K. (2003): Stabilitetsanalyser av skråninger, skjæringer og fyllinger. Skjærstyrkeegenskaper av leire og bruk i stabilitetsanalyser, Kurs 20. – 22. mai 2003, Rica Hell Hotell
- /20/ Karlsrud, K., Lunne, T. Kort, D. A., Strandvik, S. (2005): CPTU Correlations for Clays. ICSMGE 2005, Osaka, Japan, NGI-rapport 20041198-1, 10.01.2005.
- /21/ Sandven, Rolf (2010): CPTU Extra, Regneark for avansert tolkning av CPTU, brukerveiledning, 12.11.2010.

- /22/ L'Heureux, J-S. (2012): A study of the retrogressive behavior and mobility of Norwegian quick clay landslides. In proceeding of: Proceedings of the 11th International Symposium on Landslides, Volume: 1, 06/2012.
- /23/ Thakur, V. & Degago, S. (2014): Quickness test approach for assessment of flow slide potentials. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS and AGSSEA: Physical Modelling in Geotechnical Engineering, 03/2014; Volume 45(1):85-94.
- /24/ Thakur, V., Degago S. A., Oset, F., Dolva, B. K. & Aabøe, R. (2013) A new approach to assess the potential for flow slide in sensitive clays. Une nouvelle approche pour évaluer le potentiel de Coulée dans les argiles sensibles. International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, ISSMGE, Paris, France, pp 2265-2268.
- /25/ Thakur, V., Degago, S. A., Oset, F., Aabøe, R., Dolva, B. K., Aunaas, K., Nyheim, T., Lyche, E., Jensen, O.A., Sæter, M.B., Robsrud, A., Viklund, M. & Nigussie, D. (2014): Characterisation of post-failure movements of landslides in soft sensitive clays. Chapter 8 in book Landslides in Sensitive Clays. Advances in Natural and Technological Hazards Research, volume 36, 2014, pp 91-103, Springer.
- /26/ L'Heureux, J-S. & Solberg, I-L. (2012): Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge. NIFS-rapport 21-2013. Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket.
- /27/ L'Heureux, J-S. (2013): Q-BING – Utløpsmodell for kvikkleireskred. Karakterisering av historiske kvikkleireskred og input parametere for Q-BING. NIFS-rapport 38-2013. Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket.
- /28/ Thakur, V., Oset, F., Viklund, M., Strand, S.-A., Gjelsvik, V., Christensen, S., Fauskerud, O.A. (2014): En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer, NIFS rapport 14-2014. Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket.
- /29/ NS8141-3 Vibrasjoner og støt – Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk – Del 3: Virkning av vibrasjoner fra sprengning på utløsning av skred i kvikkleire.
- /30/ Jean-Sebastien L'Heureux (2014). Skredfarekartlegging i strandsonen, NIFS-rapport 27-2014. Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket.

Annen litteratur for vurdering og beregning av stabilitet i naturlige skråninger med sprøbruddmaterialer:

- 1) Transportation Research Board, TRB (1996), Special report 247, Landslides: Investigation and Mitigation.
- 2) Bjerrum, Løken, Heiberg and Foster (1969): A field study of factors responsible for quick clay slides. Proc. of 7th ICSMFE, Mexico, 1969.
- 3) Bjerrum (1973): Problems of Soil Mechanics and Construction in soft clays. State-of-the-art report to Session 4, Proc. of 8th ICSMFE, Moscow, 1973.
- 4) Aas (1981): Stability of natural slopes in quick clay, Proc. of 10th ICSMFE, Stockholm, 1981
- 5) Statens vegvesen (2006): Håndbok 016, Fjerde utgave, Geoteknikk i vegbygging.
- 6) Engen, Arne (2003): Stabilitetsanalyser av skråninger, skjæringer og fyllinger. Eksempler fra praksis, naturlige skråninger, områdestabilitet. Kurs 20. – 22. mai 2003, Rica Hell Hotell.
- 7) Gregersen, Odd (1976): Jordartsegenskaper. Bestemmelse og anvendelse ved stabilitetsanalyser i leire. Vurdering av en 25 m høy kvikkleireskråning i Båstad i Trøgstad. NIF-kurs 20. – 22. mai 1976, Pers Hotell, Gol.

Vedlegg 1. Innhold i rapport for utredning av områdestabilitet

Kap.	Tittel	Innhold
0	Sammendrag	
1	Innledning	- Bakgrunn for prosjektet (hva planen eller søknaden gjelder) - Tiltakskategorier som planen eller søknaden omfatter
2	Grunnlag	Beskrivelse av ev. eksisterende, kartlagt kvikkleiresone (avgrensning og klassifisering). Oppsummering av utførte grunnundersøkelser (med referanser), feltbefaringer inkl. vurdering av erosjon
3	Terreng og grunnforhold	Kart med marin grense, kvartærgeologiske kart, beskrivelse av topografi og grunn- og poretrykksforhold
4	Soneavgrensning og klassifisering	- Avgrenset faresone (maksimalt antatt løsneområde) iht. utbredelse av kvikkleire, topografi, fjellforløp o.l.) Begrunnelse - Faregradsklassifisering
5	Sikkerhetskrav for planlagte tiltak	- Sikkerhetskrav for planlagte tiltak i sonen, avhengig av tiltakskategorier og sonens faregrad
6	Grunnlag for stabilitetsvurderinger	- Kritiske snitt og vurdering av mulige skredmekanismer - Tolkning av lagdeling - Grunnvannstand og poretrykksforhold - Tolkning av materialparametere inkl. f.eks: - <i>kvalitet på undersøkelsene</i> - <i>tolkning av felt- og laboratorieforsøk</i> - <i>ADP-forhold og kompatibilitetsprinsipp</i>
7	Stabilitetsvurderinger	- Stabilitetsberegninger av dagens sikkerhet og vurdering av disse (drenert og udrenert) - Vurdering av sikringsbehov - Stabilitetsberegninger etter evt. sikringstiltak - Volumoverslag av evt. sikringstiltak
8	Avgrensning av utløpsområde	Avgrensning av sannsynlig utløpsområde med grunnlag i løsneområdets utstrekning, vurdering av mulige skredmekanismer og topografi (<i>markeres med ulik skravur fra løsneområdet</i>)
9	Konklusjon	
10	Referanser	
Tegningsliste (forslag)	– Oversiktstegning/oversiktskart – Kvartærgeologisk kart – Situasjonsplan med inntegnet sone (evt. gammel og ny avgrensning), gamle og nye grunnundersøkelser (antatt kvikk/sensitiv leire merkes rødt) og kritiske profiler – Profiltegninger med tolket lagdeling og alle relevante grunnundersøkelser – Beregningsprofiler med resultater – Situasjonsplan med evt. sikringstiltak – Kart som viser løsne- og utløpsområder med forskjellig skravur	
Vedleggsliste (forslag)	- Erosjon – oppsummering og bilder og kart med beskrivelse fra befaring - Skjema for faregradsklassifisering, ev. også for skadekonsekvens og risiko - Tolkning av CPTU - Tolkning av treaksialforsøk/DSS-forsøk - Tolkning av ødometerforsøk - Poretrykksmålinger	

Vedlegg 2. Skjema for innmelding av reviderte/nye faresoner til NVE

INNMEDELING AV SONEUTREDNING, JUSTERING AV EKSISTERENDE FARESONE FOR KVIKKLEIRESKRED			
Kartblad:			
Kommune:			
Sted:			
Kvikkleirefaresone:		Sonenr.:	
Oppdragsgiver:		Kontaktperson:	
SONEUTREDNING ER UTFØRT AV:			
Foretak:		Kontaktperson:	
Kvalitetssikring uavhengig foretak:		Kontaktperson:	
FAREGRADSKLASSE OG UTSTREKNING:			
Tidligere faregrad:		Ny faregrad:	
Revidert soneavgrensing:	(tegning, shapefil o.l.)		

INNMEDELING AV NY FARESONE FOR KVIKKLEIRESKRED			
Kartblad:			
Kommune:			
Sted:			
Oppdragsgiver:		Kontaktperson:	
SONEUTREDNING ER UTFØRT AV:			
Foretak:		Kontaktperson:	
Kvalitetssikring uavhengig foretak:		Kontaktperson:	
SONEAVGRESNING OG FAREGRADSKLASSIFISERING			
Faregradsklasse:			
Konsekvensklasse:	(valgfritt)		
Risikoklasse:	(valgfritt)		
Sonenavn (forslag):			
Soneavgrensing:	(tegning, shapefil o.l.)		

- VEDLEGG:**
- Datarapport(er) fra grunnundersøkelser
 - Utredningsrapport, notat etc.
 - Kvalitetssikringsrapport
 - Annet

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



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no