

Olje- og energidepartementet

Vår ref: 2022043RØ

Steinkjer, 4.5.2022

SAK 22/756

HØRINGSUTTALELSE OM «NOU 2022:3 PÅ TRYGG GRUNN»

Jeg viser til departementets invitasjon til åpen høring av Gjerdrumutvalgets NOU.ⁱ

Oppsummering av høringsuttalelsen:

Reglene om sikkerhet mot kvikkleireskred bygger på geoteknisk teori om skråningsstabilitet. Høringsuttalelsen drøfter Gjerdrumutvalgets konklusjon om at skråningsstabilitetsberegning kan brukes til å vurdere fare for kvikkleireskred. Forutsetningene som er innebygd i selve metoden analyseres. Analysen viser at todimensjonale geotekniske likninger ikke er egnet til å løse firedimensjonale problemer. Metoden kommer til kort fordi leira går over fra fast stoff til væske når den kollapser. Beregningene av skråningsstabilitet er basert på en annen forståelse av skredmekanismen og tar ikke hensyn til væskedynamikk. Geotekniske beregninger av skråningsstabilitet kan derfor sannsynligvis ikke brukes til å vurdere faren for kvikkleireskred, eller til å forklare årsaksforholdene når et kvikkleireskred har skjedd. Dagens regler gir derfor ikke tilfredsstillende sikkerhet mot kvikkleireskred og bør endres.

Et spørsmål om hva som er relevant fagkompetanse

Den bakenforliggende årsaken til at det er feil metode som brukes til å vurdere fare for kvikkleireskred at det er ingeniører med spesialisering i geoteknikk, ikke geologer, som har utviklet metodene og som har hatt hovedansvaret for arbeid med kvikkleireskred. Mens spørsmålet om væskedynamikk har blitt mer og mer sentralt i geologifaget de siste tiårene, har ikke denne kunnskapen blitt tatt opp i samme grad innenfor geoteknikken.

I tiden etter Rissaraset i 1978 er det landets største geotekniske konsultentselskap, Norges Geotekniske Institutt (NGI), som har vært den sentrale premissleverandøren for retningslinjene for sikkerhet mot kvikkleireskred. I høringsinnspilletⁱⁱ som NGI sendte inn til utvalget fremgår det av pkt. 3.5.1 og 3.5.2 at:

- kunnskapen om kvikkleireskred langt fra er tilfredsstillende på alle områder,

- det er «noen store usikkerheter som vi ikke har svar på, og som har stor betydning for vurdering av kvikkleireskredfare», blant annet metodikk for vurdering av naturlig utløsning av skred og mekanismer for skredutbredelse,
- dagens geoteknikere læres ikke opp til å se det helhetlige bildet som er nødvendig for å kunne vurdere skredfare i kvikkleireområder, og at
- vurdering av fare for områdestabilitet krever en sammensatt kompetanse, som inkluderer kunnskap om emner som i liten grad inngår i geoteknikernes utdanning, herunder geologikunnskaper

Man bør derfor ikke være overrasket over at metodene som er utviklet for å vurdere fare for kvikkleireskred er inadekvate.

Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK) har skrevet en veileder til reglene om sikkerhet mot skred i teknisk forskrift (TEK17). I høringsuttalelsenⁱⁱⁱ til Gjerdrumutvalget skriver DiBK:

Utover enkeltobservasjoner har Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) i liten grad gjennomført brede, objektive undersøkelser av svakheter, mulige forbedringer og læringspunkter knyttet til eget regelverk på kvikkleire.

Bakgrunnen for dette er mest sannsynlig at bestemmelsen om kvikkleire i § 7-3, annet ledd siste setning, og DiBKs veiledning til bestemmelsen, er basert på innspill fra et lite geoteknisk fagmiljø utenfor DiBKs egen organisasjon.

I sitt høringsinnspill^{iv} til Gjerdrumutvalget skriver sivilingeniør geoteknikk Egil Andreas Behrens:

For å sikre at de folkevalgte tar stilling til de overordnede sikkerhetskravene, som per nå kun er nedfelt i NVEs veileder, utarbeidet av et nokså snevert fagmiljø, mener undertegnede at disse må vurderes av Stortinget og nedfelles i Plan- og bygningsloven. Dette vil sikre at skredssikkerheten underlegges elementære demokratiske prinsipper, og dessuten gjøre det enklere for bransjen å skille mellom overordnede (ufravikelige) sikkerhetskrav og mindre detaljer som etter faglig skjønn bør kunne vurderes med basis i en veiledning.

Det er ingen tvil om at det er et snevert fagmiljø som har utarbeidet retningslinjene, og at reglene om sikkerhet mot kvikkleireskred mangler en forankring i demokratiske prosesser.

Gjerdrumutvalgets fagkompetanse

Gjerdrumutvalget var tverrfaglig sammensatt. Når det gjaldt skredfaglig kompetanse besto det av to sivilingeniører med spesialisering i geoteknikk (geoteknikere), én hydrolog og én ingeniørgeolog. Alle fire har sin faglige forankring i NTNU-miljøet. Det geotekniske fagmiljøet ved NTNU har hatt et tett samarbeid med det geotekniske fagmiljøet i NGI i nærmere 70 år. Man kan derfor ikke forvente at den skredfaglige kompetansen i utvalget kan representere

et korrektiv til det fagmiljøet som har vært premissleverandør for de retningslinjene som vi har i dag.

Utvalgets samlede geologikompetanse var begrenset. I høringsinnspillet pekte NGI på at geoteknikerne har lite kompetanse i geologi. Rent konkret får studentene til sammen bare 24 timer obligatorisk undervisning i geologi i løpet av de fem årene som kreves for å få mastergrad i geoteknikk.

Ingen av medlemmene var *sedimentologer*. Sedimentologi er den delen av geologifaget som handler om jordas løsmasser og deres avsetning, om sedimenters konsolidering og sedimentære bergarter. Kvikkleire er et sediment med svært spesielle egenskaper. Utvalget hadde med andre ord ikke geologisk spisskompetanse innenfor dette området. Utvalget inkluderte heller ingen geofysikere.

Gjerdrumutvalgets vurdering av skråningsstabilitetsmetoden

NOUen drøfter hvilke metoder som egner seg for å vurdere fare for kvikkleireskred. På side 125 fremgår følgende:

Det viser seg at fram til kollaps av kornstrukturen i kvikkleire, så er oppførselen svært lik oppførselen av vanlig marin leire. Derfor kan metodikk for skråningsstabilitet anvendes i områder med kvikkleire, så lenge en ser på det initiale skredet, men bare fram til kollaps i kvikkleira.

Andre metoder må benyttes for å regne etter kollaps, på overgangen fra fast leire til kvikkleiresuppe og utløp av leirmassen.

Det fremgår her at utvalget mener at metodikken kan brukes frem til kvikkleira kollapser, men ikke på overgangen fra fast leire til kvikkleiresuppe. Argumentene som ligger til grunn for denne påstanden er knappe. Det vises blant annet til at oppførselen til kvikkleire «fram til kollaps (...er...) svært lik vanlig marin leire». Spørsmålet er imidlertid om oppførselen er *lik nok* og om det som skjer med kvikkleira *etter* kollapsen kan ha noe å si for vurderingen av om en initial kollaps vil føre til et skred eller ikke.

På side 139 står det videre:

Erfaring fra over 50 år viser at vurdering av fare for kvikkleireskred gjennom krav til en sikkerhetsfaktor gir det ønskede og påkrevde sikkerhetsnivået. Det finnes ikke rapporterte eksempler på at skråninger har sklidd ut dersom anerkjent praksis er fulgt der tilstrekkelige grunnundersøkelser, vurdering av disse og krav til sikkerhetsfaktor er tilfredsstillt.

Dette forsøket på å argumentere *empirisk* for at metoden er trygg, er ikke overbevisende. Erfaring viser at det har gått mange kvikkleireskred i forbindelse med bygg- og

anleggsvirksomhet de siste årene, selv om ledende geotekniske konsultantselskap har vært engasjert av tiltakshaverne og regnet på skråningsstabilitet før skredene gikk. Det inkluderer, i tillegg til Gjerdrumskredet, blant annet skredene på Nord-Statland i 2014, Sørkjosen i 2015 og Granvin i 2016.

Reservasjonene i utsagnet er også betydelige, jf. utsagnet «dersom anerkjent praksis er fulgt». Retningslinjene gir så stort rom for bruk av skjønn mht. hvilke parametere som skal legges til grunn i stabilitetsberegningen (massenes lagdeling og egenskaper mv.), at alle skredhendelser i prinsippet kan forklares med større eller mindre avvik fra anerkjent praksis. Hertil kommer at 50 år er en kort periode, og at eventuelle negative konsekvenser av feilvurderinger eller tradisjonelle sikringstiltak ikke trenger å vise seg før det har gått lang tid.

Reglene om sikkerhet mot skred

Teknisk forskrift (TEK17) § 7-3 har bestemmelser om sikkerhet mot skred. I første ledd fremgår det at «Bygverk hvor konsekvensen av et skred, herunder sekundærvirkninger av skred, er særlig stor, skal ikke plasseres i skredfarlig område».

Annet ledd har bestemmelser om restriksjoner på bygging i skredfarlig område som er gradert etter konsekvensgrad og gjentakfrekvens. Et eksempel er at hvis skred vil få store konsekvenser (klasse S3) tillates en maksimal største nominelle årlige sannsynlighet for skred på 1/5.000, det vil si en sannsynlighet for skred på maksimalt ett skred i løpet av 5.000 år.

Annet ledd siste setning bestemmer at det for områder med fare for kvikkleireskred skal fastsettes et «tilsvarende sikkerhetsnivå». DiBKs veileder til forskriften sier om sistnevnte setning at

For slike skred fastsettes sikkerhetskravet etter geotekniske prinsipper med en sikkerhetsfaktor, F . Sikkerhetsfaktoren angir forholdet mellom stabiliserende krefter og drivende krefter for den skråningen i faresonen som har lavest stabilitet.

DiBKs veileder angir at NVEs kvikkleireveileder er en *preakseptert* ytelse, det vil si at kravene til sikkerhet mot skred vil være oppfylt dersom man følger fremgangsmåten i kvikkleireveilederen. DiBKs veileder til TEK17 begrunner dette med at «Områdeskred opptrer som en engangshendelse.» Dette er for øvrig feil. Gjerdrumskredet tok for eksempel med seg fire eldre skredgroper som NGU hadde tegnet i sitt løsmassekart.

Selv om det har vært en utvikling i reglene siden TEK3, som gjaldt da utbyggingen i Nystulia i Gjerdrum ble prosjektert, er det de geotekniske metodene, med en beregning av en *sikkerhetsfaktor F* , som hele tiden har blitt brukt siden den gangen i forbindelse med utredning av fare for kvikkleireskred.

Todimensjonale likninger og «sprøbruddegenskaper»

Innen geoteknikk bruker man mekanikk for å vurdere fare for kvikkleireskred. Utgangspunktet for metodene er at de forenkler en firedimensjonal virkelighet (lengde, høyde, dybde og tid) til et todimensjonalt problem (lengde og høyde). Ved å bruke en todimensjonal matematisk stabilitetsanalyse vurderer de belastningen i en skråning og sammenholder den med styrken i materialet i skråningen.

Parameterne som de bruker i analysen, handler om skråningens egenskaper. Tallene fastsettes både med grunnlag i måling av skråningens helningsvinkler, grunnundersøkelser, erfaringsbaserte tabeller og grafer, samt ved bruk av faglig skjønn.

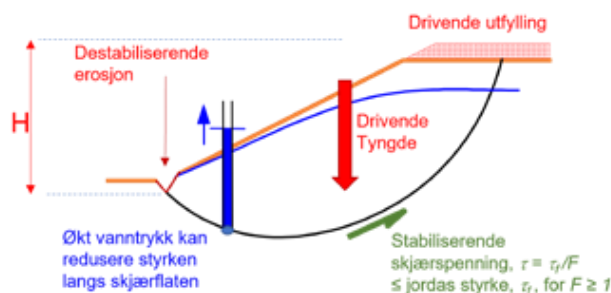
I geoteknikken sier man at kvikkleira har «sprøbruddegenskaper», og at den er et «sprøbruddmateriale».^v Disse uttrykkene kommer egentlig fra fysisk metallurgi, der sprøbrudd er brudd i metaller og legeringer som skjer ved rask bruddforplantning og uten nevneverdig plastisk deformasjon. Begrepet «quasi-brittle» (kvasi-sprø) brukes i en del utenlandsk geoteknisk litteratur. Begrepsbruken og metodene bærer preg av at geoteknikerne heller bygger på noe som er kjent stoff fra ingeniørfaget, i stedet for at man forankrer analysene i geologi som naturvitenskap.

I motsetning til metaller, består kvikkleire av store mengder vann. Det er ikke uvanlig at vannet utgjør mer enn 50 % av leira. Vannet ligger mellom flate leirmineraller som er stablet i en korthuslignende struktur. Når belastningen på leira blir for stor, kollapser korthusstrukturen, noe som fører til at vannet blir mobilt og danner en kontinuerlig fase med leirpartikler i suspensjon, det vil si en oppblanding av et finfordelt, men uopløselig fast stoff i en væske.

Det at kvikkleira består av så mye vann, og at vannet blir mobilt når leira kollapser, har vesentlig betydning for spørsmålet om man kan forklare kvikkleireskred med mekaniske formler.

Geoteknikerne beregner en sikkerhetsfaktor, F , som angir forholdet mellom styrke og belastning, dvs. $F = \text{styrke delt på belastning}$. Hvis $F = 1$, innebærer det at belastningen er lik styrken. Da sier man at skråningsmaterialet står i en bruddtilstand, det vil si at den todimensjonale skråningen matematisk er beregnet til å være på grensen til å rase ut. Faller sikkerhetsfaktoren under 1,0 tilsier det at skråningen skal rase ut. Regelverkets krav til sikker byggegrunn krever at F overstiger 1 med en viss margin. Kravet kan for eksempel være 1,1 eller 1,4, noe som matematisk betyr at styrken utgjør hhv. 10 % og 40 % mer enn belastningen.

Beregningene utføres i all hovedsak med datamaskinprogrammer. Figuren nedenfor er hentet fra Gjerdrumutvalgets rapport^{vi} om årsakene til skredet, og viser et todimensjonalt idealisert snittprofil gjennom en skråning med en tilhørende formel for grove overslag av sikkerhetsfaktoren:



Likevekt mellom drivende og stabiliserende bidrag gir sikkerhetsfaktoren:

$$F = F_c = 7 \frac{\tau_f}{\gamma \cdot H} = 7 \frac{85 \text{ kPa}}{19,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 30 \text{ m}} = 1,0$$

der:

- tallet 7 kommer fra geometri og gjelder en skråning med helning ca 1:3
- H = 30 m er skråningshøyden
- $\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$ er tyngdetettheten av leira ($\approx 2 \text{ tonn /m}^3$)
- $\tau_f = 85 \text{ kPa}$ er midlere skjærstyrke i leira ($8,5 \text{ tonn /m}^2$)

Formelen med de gitte tall illustrerer stabiliteten vest for Holmen:

- $F = 1,0$ (brudd) ved de gitte verdiene
- Erosjon og utlegging av fylling vil begge øke H som gir lavere sikkerhetsfaktor, F
- Økt poretrykk reduserer styrken i jorda, τ_f , ved å løfte partiklene fra hverandre og gi lavere F
- For variasjon i geometri og lagdeling kan beliggenheten til kritisk skjærflate og tallene endres (for eksempel om kritisk skjærflate ikke går langt nok bak til å få med en vesentlig del av fyllingen)

Figur 1: Prinsipp i en stabilitetsanalyse som illustrerer hva som påvirker en sikkerhetsfaktor (Kilde: Gjerdrumutvalgets rapport av 29.9.2021)

Som vi ser i figuren, produserer likningen en jevn og sirkelformet bruddflate. Tallet 7 er i teksten omtalt som et «geometritall». Hva dette geometritallet er basert på, er helt sentralt for å vurdere om metoden er anvendelig på kvikkleire, og jeg kommer tilbake til dette nedenfor.

Progressive skred

Geoteknikerne bygger sin analyse av fare for kvikkleireskred på at overbelastning av kvikkleira fører til det som de kaller en «progressiv bruddutvikling». Dette forklares ved at overbelastning av ett punkt kan føre til at styrken i det punktet reduseres. Dermed må nærliggende punkter «ta på seg» spenningene som det overbelastede området tidligere bar. Teorien innebærer at dette sprer seg punkt for punkt, at det "propagerer", og at et innledende brudd på denne måten kan spre seg gjennom masser i stor avstand fra der spenningsbalansen innledningsvis ble forstyrret, og at omfattende skred kan utløses som følge av dette. Derav ordet «sprøbruddseffekt». Merk at teorien håndterer denne overgangen som reduksjon i bæreevnen eller styrken til leira, og ikke som en overgang fra fast stoff til væske. Geoteknikere betegner dette av og til som «styrkedegradering», men dette er en misvisende beskrivelse av det som skjer.^{vii}

Gyllands doktorgradsavhandling

Anders Samstad Gyllands doktorgradsavhandling *Material and slope failure in sensitive clays*^{viii} fra 2012 viser at materialet som bruddflaten oppstår i komprimeres i en *skjærsone* eller et *skjærbånd*, der leira kollapser. Det fører til at vannet i skjærbåndet, *porevannet*, presses vekk. Det fører i sin tur til økt trykk der porevannet presser på. På denne måten forplanter kollapsen seg videre i leira.

Gjennom fysiske tester i laboratorium, der han utsetter sylindrisk formede leirprøver for belastning frem til de går i brudd, dokumenterer Gylland at bruddflatene varierer mye og at de blir komplekse:

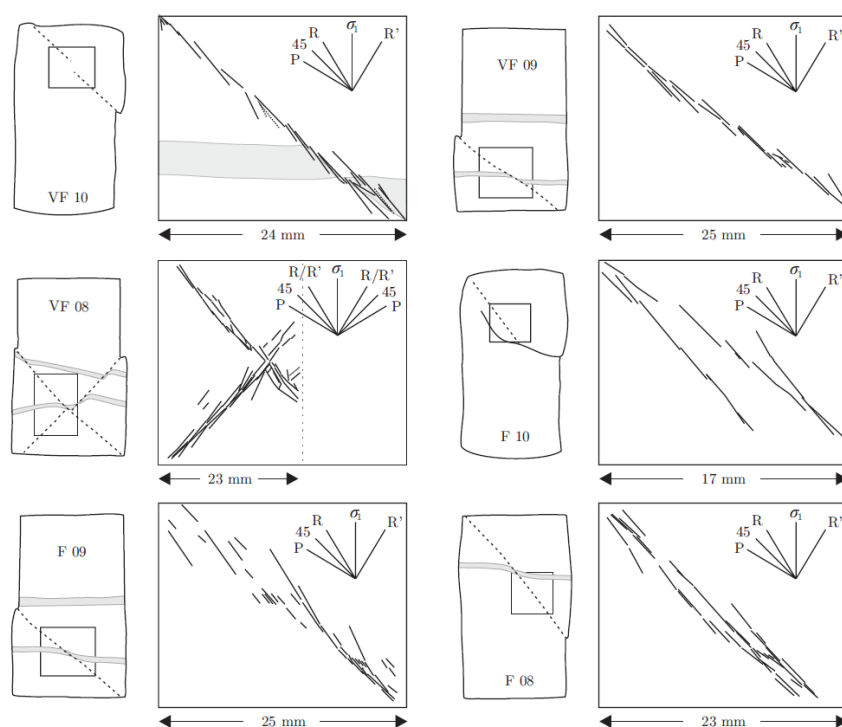


Figure C.4: Post-test deformed samples and S_2 -structures at rates of 5 mm/min (VF) and 0.5 mm/min (F)

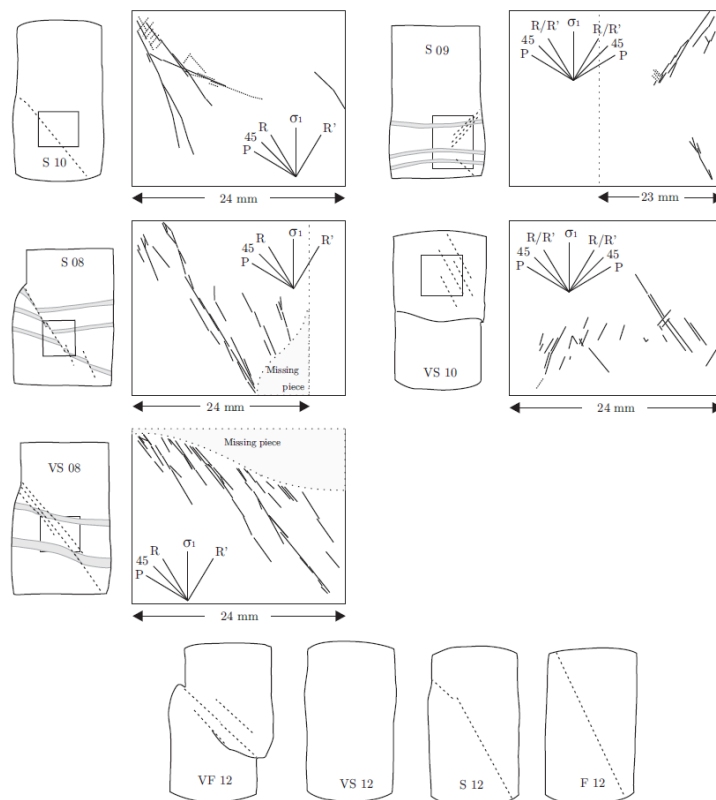


Figure C.5: Post-test deformed samples and S_2 -structures at rates of 0.05 mm/min (S) and 0.005 mm/min (VS)

Figur 3: Illustrasjon av resultat av trykktesting av leire (Kilde: Doctoral thesis "Material and slope failure in sensitive clays", Anders Samstad Gylland, desember 2012):

Han kommenterer at dette står i kontrast til de glatte bruddflatene som de geotekniske verktøyene produserer (se for eksempel figur 1). Gyllands undersøkelser viser med andre ord at bruddene utvikler seg på en annen måte enn det som blir resultatet av de todimensjonale likningene. Doktorgradsavhandlingen viser at kvikkleira oppfører seg annerledes i selve bruddsituasjonen, enn det som de geotekniske skråningsstabilitetsanalysene predikerer. Det at det er så betydelige avvik mellom de svarene som mekaniske beregning gir og det som kommer ut av testing i laboratorium er en indikasjon på at det er noe galt med skråningsstabilitetsmetoden.

Det kan også nevnes at bruddflatene som Gylland observerte i sine tester ble dannet i skjærsoner med en tykkelse ned mot 1 mm. Han viser til at det er gjort observasjoner etter skredhendelser av det som kan være bruddflater innen skjærsoner som har tykkelse opp mot 15 cm.

Væskedynamikk vs. todimensjonale likninger

Årsaken til at bruddflatene i laboratorieprøvene til Gylland ikke samsvarer med bruddflatene som likningene produserer, er at likningene ikke tar hensyn til at leira som kollapser (i selve bruddet) går over fra fast til væskefase. Innenfor sedimentologi kalles en slik fysisk faseovergang på engelsk for «liquefaction». Når materialet går over til væskefase, kommer man over i det som man innenfor geofysikken kaller *væskedynamikk*. Vi finner noe av den fremste ekspertisen innenfor dette i petroleumssektoren, der kunnskap om sedimentologi og væskedynamikk har vært helt avgjørende for norsk suksess med kartlegging og utvinning av olje.

Hvis man skal ta hensyn til væskedynamikk, så gir det kun mening i en tredimensjonal modell. Årsaken er at når en del av leira kollapser og blir til leirsuppe (porevann der leirmineralene flyter fritt), så fører væskedynamikkens lover til at leirsuppa skyves, eller presses, i den retningen, der trykket er lavest. De stedene der trykket er lavest, vil sannsynligvis ikke sammenfalle med den todimensjonale linjen som de geotekniske likningene produserer. Retningen for lavest trykk vil normalt være *ut av* leiravsetningen og ikke *inn* i avsetningen. Væsken kan bli presset ut i flere forskjellige retninger, slik Gyllands figurer viser.

I og med at væsken presses i den retningen der trykket er lavest, og man ikke kan vite nøyaktig hvor det er lavest trykk, kan man heller ikke forutsi om kollapsen vil føre til en utglidning eller ras. Forutsetningen om at «nabopunktet» vil «ta på seg spenningene som det overbelastede området tidligere bar» slår nødvendigvis heller ikke til. Det motsatte kan også skje, ved at leirmaterialet i skråningen «lettes» for den væsken som presses vekk, slik at belastningen i kritiske nabopunkter blir redusert.

Massene som ligger over bruddflaten, eller sonen der kvikkleira har kollapset, synker parallelt med at leirsuppa presses bort. I og med at man ikke kan beregne i hvilken retning leirsuppa vil bli presset, er det antageligvis komplisert, eller til og med umulig på forhånd å beregne hvor god stabiliteten blir etterpå.

I stedet for at leirsuppa blir presset ut av skråningen, kan den også bli liggende som et inkompressibelt og tilnærmet friksjonsløst lag i leira.

Fasene i progressive skred

En progressiv skredprosess kan grovt sett deles opp i to *trinn* (eller faser).

I *trinn én* skjer det en kollaps i leira. Kollapsen sprer seg der trykket er lavest, slik at det dannes en skjærsone som vil opptre som en glideflate i kvikkleira.

Det har flere ganger blitt rapportert om at et høyt smell har vært den første observasjonen som folk har gjort, når det har gått kvikkleireskred. Jeg har drøftet dette med geologer, som antar at smellet kan skyldes at kvikkleira i bruddsonen klapper sammen så raskt, at leirsuppa presses bort med lydets hastighet. Det innebærer at utviklingen av selve bruddet kan gå svært raskt, og at det er store krefter inne i bildet.

Bruddutviklingen kan stoppe opp, for eksempel fordi det utvikler seg i retning mot en tørrskorpe, jord med tele eller andre masser som ikke kollapser, slik som sand eller fastere leire.

Det første trinnet kan også bestå av en serie med slike kollapser.

I *trinn to* raser massene ut. Hvis leirsuppa i bruddsonen får utløp gjennom tørrskorpen under trinn én, kan utrasingen i trinn to starte umiddelbart.

Det finnes ikke forskning som gir grunnlag til å forutsi hvor raskt eller sakte de ulike trinnene i skredprosessen vil skje, eller hvor lang tid det kan gå mellom fasene. Vi kan ikke utelukke at prosessene kan strekke seg over flere måneder, eller til og med flere år.

Det har blitt gjort flere observasjoner i forbindelse med skredhendelser som tyder på at det kan gå lengre tid mellom de to trinnene.

Selve utrasingen kan være over på få sekunder. Bekkelagsskredet i 1953 var over på 20-30 sekunder, mens Verdalsraset pågikk i omkring 40 minutter.

Heksebergskredet, som skjedde like før påska i 1967, og som Gjerdrumutvalget har omtalt i sin rapport om årsakene til Gjerdrumskredet, er et eksempel på et skred som har to tydelige utviklingstrinn:

Grunneieren hørte 18. mars 1967 en høy lyd som av kanonskudd. Dagen etter inspiserte han de snøklede jordene og så at det var 40 meter lange sprekker i skråningen, parallelle med og ca. 60 meter fra Gjermåa. Bakken hadde sunket ca. 1 meter. Klokka 6 om kvelden 20. mars så grunneieren den første store skråningsutglidningen som strømmet ut mot Gjermåa og ut i Leira og demmet denne opp. Nesten umiddelbart utviklet skredet seg bakover. Innen neste dag hadde nok en stor del sklidd ut. Skredgropa var jevn og helt flat i bunnen (...) Skredmassene blokkerte 300 meter av Leira og vannstanden steg 3-4 meter de neste dagene. I denne perioden var det også kraftig regn.

(Kilde: Gjerdrumutvalgets rapport av 29.9.2021)

Denne beskrivelsen tilsier at kollapsen under trinn én har spredd seg svært hurtig. Den viser også at det kan oppstå en lengre pause, frem til de første massene begynner å rase ut, og at selve masseforflytningen også kan ta noe tid. I dette tilfellet kan kraftig regn, eventuelt i

kombinasjon med tining, ha ført til at massene i bruddsonen etter to dager fikk utløp gjennom tørrskorpen ned mot elvedalen, slik at masseforflytningen kunne begynne.

Vi kan se for oss at en kuldeperiode med lite nedbør kunne ha forlenget perioden mellom trinn én og trinn to. Vi kan også se for oss at leirsuppa på grunn av denne pausen over tid kunne ha drenert vekk, slik at det ikke hadde blitt noe Heksebergskred, men kun en setning.

Geoteknikerne har ikke i dag noen metode som kan brukes til å avdekke om det allerede ligger et sjikt med leire som har kollapset under bakken. De geotekniske stabilitetsanalysene tar heller ikke høyde for at en skråning kan stå i en slik prekær mellomtilstand. I denne mellomtilstanden vil forhold som normalt ikke skulle ha ført til ras, eksempelvis en omfattende nedbørsperiode, kunne være det siste som skal til for å få massene til å rase ut.

Helningsgraden og geometritallet

Det er det at massene transporteres bort på en inkompressibel leirsuppe som kjennetegner de typiske kvikkleireskredene. Hvis bruddflaten får utløp gjennom tørrskorpen, kan det, avhengig av terrengforholdene mv., føre til at de overliggende massene sklir bort som om de lå på klinkekuler, eller slik en bil vil oppføre seg ved vannplaning. En kan også sammenlikne med flakskred i snø.

Når underlaget er tilnærmet fritt for friksjon, er det tilstrekkelig at bruddflaten har en helning som ikke er fullt ut horisontal. Hvis bruddflaten har mer enn null grader i helning, kan det være tilstrekkelig til at massene kan skli av gårde.

I den forenklete likningen som Gjerdrumutvalget viste til (se figur 1 ovenfor) fremgår det at «tallet 7 kommer fra geometri og gjelder en skråning med helning ca 1:3». En helning på 1:3 tilsvarer 18,4 grader. Geometritallet er utledet fra denne figuren:

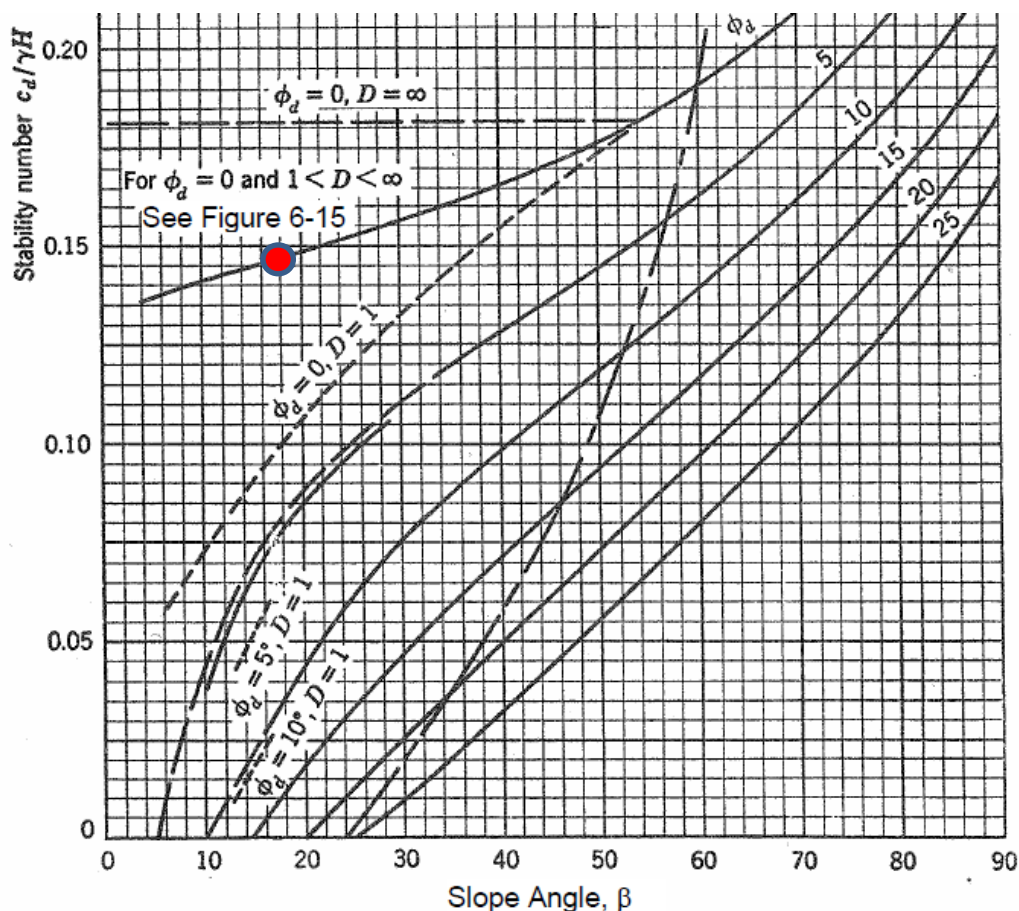


Figure 6-14. Taylor's chart for soils with friction angle (after Taylor, 1948).

Figur 4: Grafer som viser forholdet mellom skråningsvinkel og stabilitet (Kilde: Geotechnical Engineering: Slope Stability, U.S. Department of Transportation, National Highway Institute, desember 2006^{ix})

Den horisontale aksene angir skråningsvinkelen og den vertikale aksene et stabilitetsnummer. Geometritallet i likningen på side 1 er basert på den nest øverste grafen (under teksten «See Figure 6-15»). 18,4 grader tilsvarer ca. 0,145 i stabilitetsnummer, se rød prikk. Geometritallet 7 fremkommer ved å dele tallet 1 på stabilitetsnummeret, dvs. $1 : 0,145 = 6,89 \approx 7$.

Stabilitetsnummeret er et uttrykk for forholdet mellom homogene kohesjonsmasser og skråningsvinkler. Det er basert på prinsippet om at løsmassenes kohesjon og indre friksjon motvirker løsmasser fra å gli ut av en skråning, inntil skråningen blir for bratt.

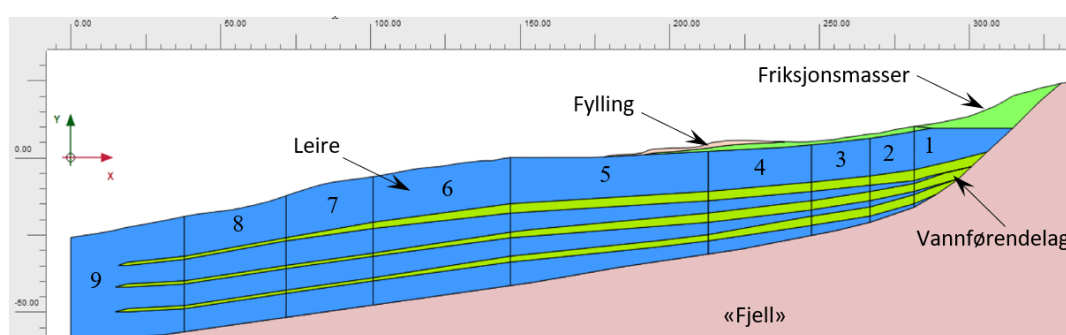
Fastsettingen av stabilitetsnummeret tar imidlertid *ikke* hensyn til det som skiller kvikkleireskred fra skred i vanlig leire, det vil si liquefaction og væskedynamikk, og at det er tilstrekkelig at bruddflaten bare har mer enn null grader helning, for at massene på oversiden skal skli bort på en inkompressibel og tilnærmet friksjonsfri leirsuppe.

Beregningen av skråningens stabilitet frem til bruddet er med andre ord basert på et geometritall som bygger på feil forutsetninger om hva som må til for at massene skal rase ut

etter kollapsen. Konsekvensen er at vinkelen på skråningen sannsynligvis tillegges for mye vekt sammenlignet med andre faktorer.

Som følge av at vinkelen tillegges for stor vekt, må geoteknikerne justere på andre parametere, hvis de skal bruke slike likninger til å forklare hvorfor det har gått skred i slakt terreng. Denne prosessen, som kalles «tilbakeregning av skred», kan få noen oppsiktsvekkende konsekvenser.

For å forklare forløpet i en progressiv bruddutvikling på Kråknes i Alta i 2020, valgte for eksempel undersøkelsesgruppa å «sette på» et artesisk, det vil si et oppadrettet vanntrykk i dataprogrammet i tre vannførende lag med løsmasser, som de mente at hadde ligget mellom leirlagene i massene som raste ut.^x



Figur 5: Modell for lagdeling i profil C (Kilde: Ekstern rapport NVE 4/2021 Årsaksvurdering – Kvikkleireskredet ved Kråknes i Alta 3. juni 2020, Multiconsult)

De måtte sette på et trykk tilsvarende en 10 meter høy vannsøyle i alle lagene for å få regnestykket til å gå opp, det vil si for å få sikkerhetsfaktoren til å komme under 1,0. Denne forutsetningen kan sammenlignes med at havnivået steg så mye at Altafjorden la seg 10 meter over fyllingen som er tegnet inn i figur 5, og som gruppa mente var en medvirkende årsak til at skredet startet.

Av de rapportene som jeg har gått gjennom, er dette det mest ekstreme eksemplet på bruk av artesisk trykk som forklaring på kvikkleireskred. Eksemplet er imidlertid ikke enestående. I sin doktorgradsavhandling *Progressive Landslides in Long Natural Slopes*^{xi} fra 2011 imøtegår Stig Bernander påstander om at artesisk trykk tilsvarende en 7 meter høy vannsøyle var årsaken til Surteskredet i 1950, som tok med seg 31 boliger.

Mitt inntrykk er at man i stedet for å vurdere om det kan være noe galt med formelen, legger til grunn spesielle antagelser om stedets geologi og geologiske prosesser, som gjør at den geotekniske formelen likevel kan forklare hvorfor skredet skjedde. Terrenget tilpasses kartet.

Romlige variasjoner

De geotekniske likningene er basert på egenskapene i et gitt todimensjonalt snitt i skråningene. Massene i en skråning er imidlertid ikke homogene, det vil si at de kan variere mye fra punkt til punkt. Det ligger derfor en viss usikkerhet, både mht. om egenskapene til massene blir riktig representert i likningen for det enkelte snitt, og om man klarer å identifisere det snittet i skråningen som er mest kritisk mht. stabilitet.

Variasjoner over tid

Et annet problem med likningene er at de gjelder det som er situasjonen på vurderingstidspunktet, og at de ikke tar hensyn til den fjerde dimensjonen – endringer over tid. NGIs administrerende direktør, Lars Andresen, er inne på dette i en kronikk^{xii} på tu.no den 26.3.2021:

Over tid kan endringer i topografi som følge av for eksempel utbygginger og infrastruktur endre både risikobildet og konsekvensen av et mulig skred. I tillegg kommer endringer i vannføring, flom, overvann og erosjon som følge av at klimaet er i endring. Gjøres dataene åpent tilgjengelig vil det derfor være viktig å ha en dynamisk tilnærming til risikovurderinger. I forbindelse med nye byggesaker bør det dessuten være krav om å oppdatere vurderingene.

Skal åpen tilgang gjennom en nasjonal digital plattform være til hjelp fremfor å være kilde til feil bruk og feil tolkninger, må vi som bransje ha løpende diskusjoner om svakheter i data, kunnskap for å tolke informasjon og hvor lenge dataene er gyldige.

Kort sagt vil en tradisjonell, todimensjonal stabilitetsberegning av en kvikkleireskråning uansett gå ut på dato. Hvor raskt eller sakte det går er vanskelig å si og vil kunne variere mye.

Andresen peker blant annet på endringer som skyldes geologiske prosesser. Slike prosesser medfører at forholdene under bakken er i kontinuerlig endring, og i kvikkleireområder går noen av disse prosessene raskt. Gjerdrumutvalget konkluderte for eksempel med at Tistilbekken hadde erodert 2,5 meter ned i bakken i løpet av en åtteårsperiode.

Andresen peker også på endringer som skyldes menneskelig aktivitet. Dette er et bredt spekter som omfatter alt fra at utbygging øker belastningen på kvikkleira, til at det skjer uhell, og til at noen skjodesløst eller bevisst utløser skred. Gjerdrumutvalget rettet for eksempel kritikk mot at NGI rådet tiltakshaveren til å fylle igjen ravinedalene, noe som vil gi høyere grunnvannsstand og dermed økt belastning på leira.

Det å kartlegge *kvalitativt* hvilke geologiske prosesser og menneskelige handlinger, som kan påvirke skredfare i et kvikkleireområde, er en stor utfordring, men det å analysere kvantitativt hva det kan ha å si for skredfaren, er enda vanskeligere.

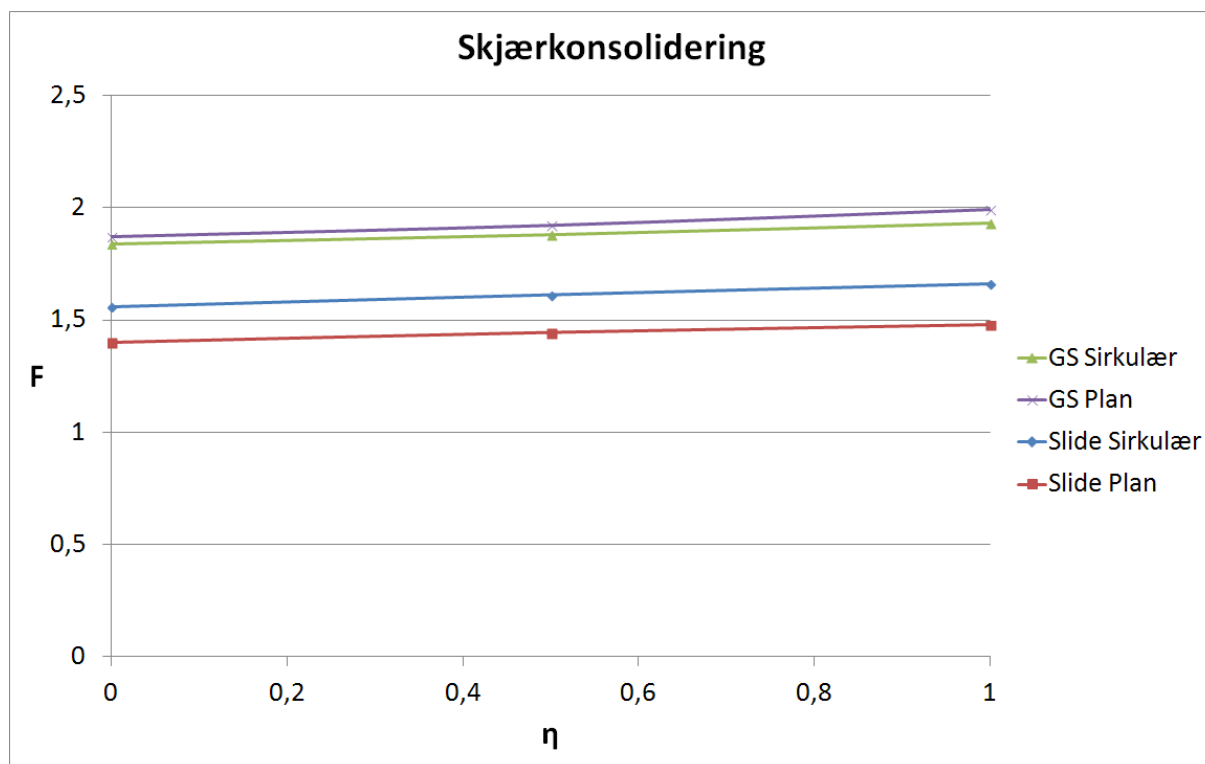
Hverken tiltakshaverne eller de geotekniske konsultentselskapene utarbeider vanligvis kvantitative analyser av fare relatert til utvikling av forholdene etter tidspunktet for vurderingen av skråningsstabilitet. Det eneste eksemplet som jeg kjenner til der det har blitt gjort viser at det får en enormt negativ effekt på forventet sikkerhet. I forbindelse med utbygging av jernbane gjennom kvikkleireområdene i Moss havn bestilte BaneNOR en analyse av farene relatert til utføring av sikringsarbeidene. Bane NOR publiserte den 17.2.2022 en rapport skrevet av konsulentfirmaet SAFETEC AS.^{xiii} Den presenterer en risikoanalyse som er utarbeidet i samarbeid med representanter fra Bane NOR, NGI og andre organisasjoner.

SAFETEC vurderer at sannsynligheten for skred ved oppstarten av arbeidene er 5×10^{-4} , det vil si 5/10.000, som tilsvarer ett skred i løpet av 2.000 år. SAFETEC mener faren vil øke betydelig det første året med anleggsarbeid og at den i en periode tilsvarer en gjentakfrekvens på ett skred i løpet av 595 år (i rapporten $1,4 \times 10^{-4}$ måneder, dvs. 7.143 måneder = 595 år). Dette betyr at sikringsarbeidene medfører mer enn en tredobling av faren for skred, og mer enn 8 ganger høyere sannsynlighet for skred enn det som TEK17 § 7-3, annet ledd tillater, som er et sikkerhetsnivå tilsvarende ett skred på 5.000 år. Dette viser at den statiske vurderingen av skråningsstabilitet ikke gir et representativt uttrykk for sikkerheten mot skred.

Variasjoner som skyldes forskjeller i programvare

Ut over at kvikkleireveilederen stiller krav om at programvare for beregning av sikkerhetsfaktor må inneholde visse funksjoner, stiller den ikke krav om hvilke logaritmer som programvaren skal bruke ved beregning av skråningsstabilitet. Erfaring viser at sikkerhetsfaktoren kan variere svært mye alt etter hvilket dataverktøy man bruker.

I sin masteroppgave *Premisser som påvirker beregnet skråningsstabilitet ved bruk av grenselikevektsmetoder*^{xiv} fra 2013 skriver Karl Fredrik Hvoslef Moe at «For alle beregningene er sikkerhetsfaktoren beregnet i Geosuite høyere enn den som er beregnet i Slide», noe denne illustrasjonen viser:



Figur 6: Forskjeller i beregnet sikkerhetsfaktor mellom GeoSuite og Slide (Kilde: Premisser som påvirker beregnet skråningsstabilitet ved bruk av grenselikevektsmetoder, Karl Fredrik Hvoslef Moe (2013))

Her fremkommer det beregnet sikkerhetsfaktor $F = 1,5$ med verktøyet Slide og $F = 2$ med Geosuite, det vil si 50 % i forskjell i beregnet sikkerhet. Når forskjellene i sikkerhetsfaktor blir så store bare ved å bruk en annen programvare er dette enda en grunn til at man ikke kan vurdere sikkerhet mot kvikkleireskred med grunnlag i denne metoden.

Korrigerings for usikkerhet og kravet til margin ut over 1,0

Kravet til at sikkerhetsfaktoren skal overstige 1,0 med en viss margin, skyldes blant annet at likningene ikke tar hensyn til alle faktorene som kan forårsake kvikkleireskred og at forholdene endrer seg over tid.

Det foreligger flere studier i det geotekniske fagmiljøet som viser at det ikke er enkelt å forutsi hvilken innvirkning forekomst av kvikkleire og dens «sprøbruddsegenskaper» har på sikkerhetsfaktoren.^{xv} Sagt på en annen måte er geoteknikerne klar over at det hersker usikkerhet med tanke på hvilken korrelasjon det er mellom beregning av skråningsstabilitet ved en sikkerhetsfaktor og sannsynligheten for og årsakene til kvikkleireskred.

Ettersom kvikkleireskred kan få fatale konsekvenser, anser geoteknikerne at det er bedre å underestimere en skrånings stabilitet enn å overestimere den. Derfor bestemte NVEs kvikkleireveileder fra 2014^{xvi} at man skulle redusere skjærfastheten til kvikkleire med 15 %.

Skjærfastheten er en av komponentene i likningen som påvirker hvor høy sikkerhetsfaktoren blir. I den siste versjonen av kvikkleireveilederen (nr. 1/2019) ble det bestemt at man i stedet skal redusere selve *sikkerhetsfaktoren* med 15 %. Dette gjelder imidlertid kun de skråningene som geoteknikeren mener vil få redusert stabilitet, som følge av tiltaket. For andre skråninger i nærområdet, som også kan ramme tiltaket, dersom det skjer et skred, er det ikke krav om en tilsvarende reduksjon.

Etter dagens regelverk kan kravet til sikkerhetsfaktor være så lavt som 1,10. Det ville for eksempel vært tilfelle for skråningen ved Holmen sør for Nystulia, den som Gjerdrumutvalget mente at raste ut først, hvis Nystulia skulle ha blitt bygd ut i desember 2020, før skredet gikk.^{xvii} Vi kan bruke dette som et eksempel på hvor lav grad av beregnet sikkerhet dette egentlig innebærer:

Utvalget konkluderte med at «Den utløsende faktor til skredet den 30. desember, var en langvarig nedbørsperiode høsten 2020 som førte til ytterligere erosjon og økning av poretrykket i kvikkleira.» Det fremgår ikke av rapporten hvor stor økning utvalget mente at poretrykket ble som følge av den langvarige nedbøren.

En gjennomgang av rapporter fra utvalg som undersøkte skredene i Nord-Statland i 2014^{xviii}, Tosbotn i 2016 og Alta i 2020, viser at en økning i poretrykket som tilsvarer én meter vannsøyle, reduserer sikkerhetsfaktoren med mellom 8-24%. For den skråningen som raste ut først i Alta (en annen skråning enn den som jeg har nevnt ovenfor), la gruppa til grunn at sikkerhetsfaktoren ble redusert fra 1,93 til 1,02 når poretrykket økte tilsvarende en vannsøyle på 4 meter. Dette representerer en reduksjon av sikkerhetsfaktoren på 23 % per meter vannsøyle. Hvis nedbøren hadde hatt tilsvarende effekt på den beregnede stabiliteten i skråningen ved Holmen i Gjerdrum, ville den, hvis sikkerhetsfaktoren var 1,10 før nedbøren satte inn, med økt poretrykk tilsvarende så lite som *en halv meter* vannsøyle, ha blitt 0,96. Det betyr at skredet iht. geoteknisk teori om skråningsstabilitet ville ha skjedd selv om alt var gjort i overensstemmelse med dagens retningslinjer. Dette illustrerer at den sikkerheten som man forsøker å bygge inn i kravet om at stabiliteten må overstige 1,0 med en viss margin ikke er stor nok, selv innenfor den logikken som dagens regelverk bygger på.

Vurdering

Når regelverket bestemmer at man for enkelte skråninger skal trekke fra 15 % på sikkerhetsfaktoren, skyldes det en erkjennelse av at det er noe med kvikkleira som gjør at dagens geotekniske metode kan feilvurdere skråningens stabilitet. Dette tiltaket er etter mitt skjønn et resultat av en manglende forståelse av hvor vanskelig det er å si noe om sannsynligheten for kvikkleireskred. Problemet synes ikke å være at det er risiko for å feilvurdere en skrånings stabilitet, men at man feilvurderer hvilken betydning den beregnede skråningsstabiliteten har for om det vil skje et kvikkleireskred.

Når man går fra to til fire dimensjoner og inkluderer væskedynamikk som årsaksfaktor, blir det en enorm økning i antall mulige utfall. Den geotekniske metoden for å analysere fare for kvikkleireskred innebærer derfor en ekstrem forenkling av noe som i realiteten omfatter svært kompliserte og uoversiktlige prosesser.

Gjerdrumutvalget har etter mitt skjønn tatt feil når det hevder at dagens geotekniske metode kan brukes til å beregne det som skjer frem til kollapsen. Årsaken er blant annet at analysen av det som skjer *frem til* kollapsen, er basert på et geometritall som bygger på feil forutsetninger om hva som må til for at massene skal rase ut etter kollapsen. Det som skjer etter kollapsen, har alt å gjøre med væskedynamikk, men det tas det ikke hensyn til ved fastsettingen av geometritallet.

Det kan kanskje innvendes at man da kan justere geometritallet, slik at det tar hensyn til at masser som ligger på en inkompressibel leirsuppe kan transporteres bort når vinkelen er litt mer enn null grader. Det vil i tilfelle innebære at man bruker en annen metodologi enn den som Gjerdrumutvalget hevder at man kan anvende.

Beregning av en sikkerhetsfaktor for skråningsstabilitet ved bruk av todimensjonale likninger kan sannsynligvis uansett ikke brukes til å analysere fare for kvikkleireskred eller til å finne årsaken til at kvikkleireskred har skjedd. Hvis man skal beregne dette matematisk må man antageligvis gjennomføre en liquefaction-analyse, der man både analyserer hvor stor belastning som kreves for å trigge liquefaction (at leira går i brudd), og hva som skal til for at massene på oversiden av glideflaten raser ut. Væskedynamikk innebærer at det vil være nødvendig å analysere dette i tre dimensjoner.

Sannsynligvis er det andre metoder som kan gi bedre prediktivitet i vurderingen av fremtidig skredfare. Da NGI i 2003 analyserte faren for kvikkleireskred i Nystulia i Gjerdrum med grunnlag i skredstatistikk på Romerike, fant de at det var sannsynlig at det ville skje ett skred i Nystulia i løpet av 250 år.^{xix} Dette tilfredstilte på langt nær forskriftens krav til sikkerhet mot skred, men analysen traff vesentlig bedre enn den geotekniske analysen som førte til at det ble gitt grønt lys for utbyggingen.

Ved å begrense det statistiske grunnlaget til et mer lokalt avgrenset område, for eksempel skredaktivitet i Gjerdrum kommune, i stedet for skredaktivitet på hele Romerike, kan man sannsynligvis få en enda bedre pekepinn på hva som er sannsynligheten for kvikkleireskred på en gitt lokalitet i kommunen med grunnlag i statistisk analyse. Dette kan kombineres med andre metoder, men det må forutsettes at de er basert på en reell representasjon av geologien og de geologiske prosessene, samt vitenskapelig anerkjente metoder for risikoanalyse.

Konklusjon

I og med at geotekniske beregninger av skråningsstabilitet sannsynligvis ikke kan brukes til å vurdere faren for kvikkleireskred, gir ikke dagens regler tilfredsstillende sikkerhet. Reglene bør derfor endres.

Det er også viktig å utrede den reelle risikoen som er forbundet med de siste årenes omfattende utbygging i kvikkleireområder. Dette arbeidet bør komme i gang allerede i nær fremtid.

Gjerdrumutvalgets NOU gir etter min oppfatning ikke et tilstrekkelig faglig grunnlag for at OED kan ta stilling til disse spørsmålene hvis departementet skal utrede lovforslag. Hele systemet avhenger av hvilken forståelse man har av skredmekanismen. Jeg viser igjen til NGIs høringsinnspill der det fremgår at det er store usikkerheter blant annet relatert til metodikk for vurdering av naturlig utløsning av skred.

Det er etter min oppfatning nødvendig at sedimentologer, geofysikere, og eksperter på risikoanalyse både inviteres til å delta i arbeidet med utvikling av bedre metoder og at det straks treffes tiltak for at de skal få være med i det daglige arbeidet med vurdering av sikkerhet mot kvikkleireskred. Kvikkleireveilederens kompetansekrav setter en effektiv sperre for det sistnevnte, ved at det stilles krav om at de som skal gjøre vurderingene må ha en fagansvarlig som er geotekniker. Kravet om at geoteknikeren også må ha erfaring med NVEs kvikkleireveileder er antageligvis også i strid med EØS-reglene.

I tillegg til at dette handler om samfunnssikkerhet generelt, berører temaet interessene til en liten krets av aktører i privat og offentlig sektor. Samlet tilsier dette at OED også bør dra veksler på kompetanse fra utlandet i forbindelse med utvikling av nytt regelverk.

Rune Østgård

Advokat

ⁱ [NOU 2022:3 På trygg grunn](#), Gjerdrumutvalget (2022)

ⁱⁱ [Høringsuttalelse fra NGI til Gjerdrumutvalget](#) (2021)

ⁱⁱⁱ [Høringsuttalelse fra DiBK til Gjerdrumutvalget](#) (2021)

^{iv} [Høringsuttalelse fra sivilingeniør geotekniker](#) Egil A. Behrens (2021)

^v [NVE veileder nr. 1/2019 Sikkerhet mot kvikkleireskred](#)

^{vi} [Gjerdrumutvalgets rapport om årsakene til kvikkleireskredet i Gjerdrum](#) (2021)

^{vii} [Dynamiske påkjenninger og skredfare](#), Jean-Sebastien L'Heureux, Jörgen Johansson (2012)

-
- viii [Material and slope failure in sensitive clays](#), Anders Samstad Gylland (2012)
- ix [Geotechnical Engineering: Slope Stability](#), U.S. Department of Transportation, National Highway Institute (2006)
- x [Ekstern rapport NVE 4/2021 Årsaksvurdering – Kvikkleireskredet ved Kråknes i Alta 3. juni 2020](#), Multiconsult (2021)
- xi [Progressive Landslides in Long Natural Slopes](#), Stig Bernander (2011)
- xii [Ja til deling av data fra grunnundersøkelser](#), kronikk i Teknisk Ukeblad, Lars Andresen (2021)
- xiii [Helhetlig geoteknisk risikovurdering Moss havn](#), SAFETEC (2022)
- xiv [Premisser som påvirker beregnet skråningsstabilitet ved bruk av grenselikevektsmetoder](#), Karl Fredrik Hvoslef Moe (2013)
- xv [Numerisk modellering av erosjonsutløste kvikkleireskred](#), Amanda Johansen DiBiagio (2020)
- xvi [NVE veileder nr. 7/2014 Sikkerhet mot kvikkleireskred](#)
- xvii Basert på a) kvikkleireveilederens krav til 10% forbedring av sikkerhetsfaktoren for en skråning som b) ligger i en kvikkleiresone med middels faregrad (i [Multiconsults rapport til Gjerdrumutvalget](#) la konsulentene til grunn at sonen ville få middels faregrad) og c) under forutsetning av at det ved beregning av sikkerhetsfaktor lik 1,10 ikke er tatt hensyn til poretrykksøkning. Da NGI utredet stabiliteten i området i 2003 fant de stedvis at det var poreovertrykk tilsvarende 1 meter vannsøyle. Hvis det hadde blitt tatt hensyn til et tilsvarende poreovertrykk ved beregningen av nødvendige sikringstiltak for å få tilfredsstilt sikkerhetsfaktor 1,10, ville utløsning av skred ha krevd et poreovertrykk tilsvarende ca. 1,5 meter vannsøyle
- xviii [Skredet ved Nord-Statland, Utredning av teknisk årsakssammenheng](#) (2014)
- xix [Reguleringsplan Ask sentrum, ROS-analyse med forslag til tiltak](#), NGI (2003)