Skredet ved Mofjellbekken bruer (Skjeggestadskredet)

Utredning av teknisk årsakssammenheng
(Trykt versjon uten vedlegg)

49
2015

RAPPORT

Skredet ved Mofjellbekken bruer (Skjeggestadskredet)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Stein-Are Strand og Trude Nyheim

Forfattere: Vidar Gjelsvik (NGI), Vikas Thakur (NTNU), Margareta Viklund (JBV), Eirik Traae (NVE), Trude Nyheim (NVE) og Stein-Are Strand (NVE)

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 40
Forsidefoto: Dronebilde, Kilde: Orbiton
ISBN 978-82-410-1096-5

Sammendrag:

Emneord: Skred, kvikkleire, infrastruktur

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

Innhold

Forord 4
Sammendrag 5
1 Skredhendelse 6
2 Grunnlagsmateriale 7
3 Vurdering av skredhendelsen 8
3.1 Grunnforhold 8
3.2 Skredutvikling og forløp 10
3.3 Vurdering av årsaksforhold 13
3.3.1 Generelt 13
3.3.2 Naturlig påvirkning på stabilitetsforholdene 13
3.3.3 Menneskeskapte påvirkninger på stabilitetsforholdene 15
4 Oppsummering 21
5 Vedlegg 22
6 Referanser 23

Forord

Formålet med rapporten er å bidra til å belyse den tekniske årsakssammenhengen til skredet som gikk 2. februar 2015 ved Mofjellbekken bruer (Skjeggestadskredet), og hvor Mofjellbekken bruer på E18 ble påført alvorlige skader.

Rapporten er skrevet av undersøkelsesgruppen dannet etter skredhendelsen. Gjennomføring av systematiske undersøkelser etter hendelser er en oppfølging av Meld. St. nr. 15 (2011-2012). NVE har i brev til OED, datert 22.07.2013, utarbeidet forslag til gjennomføring av systematiske undersøkelser etter flom- og skredhendelser av en viss størrelse. Basert på erfaringene så langt vil NVE vurdere nærmere hvordan systematiske undersøkelser skal gjennomføres i fremtiden.

Undersøkelsesgruppen har bestått av Vidar Gjelsvik (NGI), Vikas Thakur (NTNU), Margareta Viklund (JBV), Eirik Traae (NVE) og Trude Nyheim (NVE). Leder for undersøkelsesgruppen har vært Stein-Are Strand (NVE).

Statens vegvesen, ved Hanne Bratlie Ottesen, har bistått med grunnlagsdata og fremskaffelse av grunnundersøkelser.

Det presiseres at rapporten kun omhandler de tekniske årsakssammenhenger i forbindelse med skredhendelsen, og således er forhold knyttet til selve brukonstruksjonen når det gjelder tilstand, oppbygging mv. ikke vurdert i denne rapporten.

Ansvar- eller skyldspørsmål knyttet til skredhendelsen er ikke vurdert av undersøkelsesgruppen.

Oslo, 1. juni 2015

Anne Britt Leifseth
Avdelingsdirektør

Grethe Helgås
Seksjonssjef

Sammendrag

Undersøkelsesgruppen har sett på mulige årsaker til at skredet ved Mofjellbekken bruer ble utløst, samt utført en vurdering av skredets forløp/utvikling.

Det har blitt vurdert naturgitte forhold som erosjon og nedbør, samt menneskeskapte inngrep i terrenget som kan tenkes å ha vært av betydning for stabiliteten i området. Inngrep som har blitt vurdert har vært jordbruksplanering, bygging av E18, etablering av golfbane og utført utfylling/planering i tiden rett forut for skredet. Det er i tillegg blitt utført vurderinger knyttet til rystelser fra E18 (Mofjellbekken bruer), samt fra bulldoser som ble benyttet for planeringsarbeider ved Mofjellbekken.

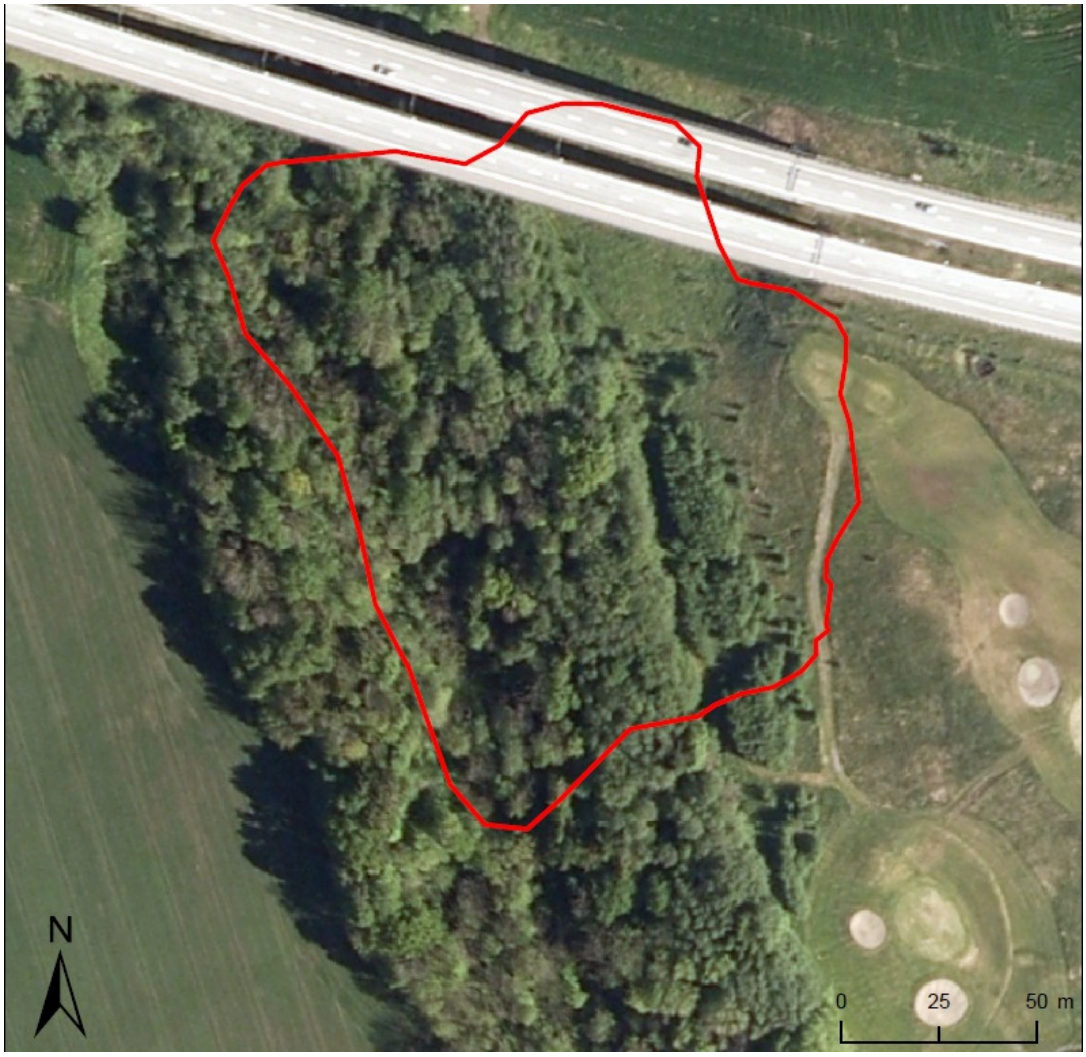
Undersøkelsesgruppen har vurdert at det er tilstrekkelig sannsynliggjort at det var utfyllingsarbeidene på området til Solum golfklubb i tiden rett forut for skredet som har vært den utløsende årsaken til skredet. Sammenfall i tid, samt vurderinger av stabiliteten i området og skredets utvikling og omfang/form, støtter opp under denne konklusjonen. Stabilitetsberegningene som er utført viser at den beregningsmessige sikkerheten mot skred utløst av naturlige årsaker var god. Videre viser stabilitetsberegninger at skråningen der de utfylte massene lå, på det mest kritiske stedet hadde liten sikkerhetsmargin mot en ytre last, og at fyllingsarbeidene i tiden rett forut for skredet reduserte sikkerheten til et nivå hvor skred måtte forventes å oppstå.

Tidligere planerings- og utfyllingsarbeid i området, frem til 2006, har bidratt til å redusere sikkerhetsmarginen i skråningen.

For de andre mulige årsaker er det undersøkelsesgruppens vurdering at disse ikke har hatt noen direkte sammenheng med at skredet oppsto. Skredets form og omfang er ikke f.eks. samsvarende med et skred utløst pga. dårlig overflatestabilitet, og det er i tillegg gjennom befaring påvist lite erosjon langs Mofjellbekken. Nedbørsforholdene i tiden forut for skredet skulle heller ikke indikere spesiell stor fare for erosjon i bekken. Disse vurderingene er bekreftet gjennom stabilitetsberegninger, som viser god sikkerhet mot skred utløst av naturlige årsaker. Rystelser som utløsende årsak til at skredet ble utløst er heller ikke vurdert som sannsynlig.

1 Skredhendelse

Skredet ved Mofjellbekken bruer på E18 i Holmestrand kommune, oftest omtalt som Skjeggestadskredet, inntraff på ettermiddagen mandag 2. februar 2015. Hoveddelen av skredområdet ligger på sørsiden av bruene, men skredet har delvis gått inn under bruene og påført skade på disse. Avgrensingen av skredet er vist på figur 1, samt at forsidebilde viser et dronebilder tatt av skredområdet i tiden rett etter skredhendelsen.



Figur 1 Avgrensing av skredområdet. Flyfoto fra 2007 (kilde: www.norgeibilder.no)

Skredet hadde en lengde på ca 80 meter og en bredde på ca 100 meter, samlet ca. 10 000 m^2. Til sammen har ca. 100 000 m^3 masse vært i bevegelse under skredhendelsen. Noe masse ble skviset ut av skredgropa under skredet, og spor av disse massene er observert så langt som 500 meter lenger nede i Mofjellbekken.

Skredet som oppsto påførte Mofjellbekken bruer skade slik at disse måtte stenges. Den sørgående brua ble påført så store skader at den måtte rives.Stengningen har medført store utfordringer på omkjøringsveiene i Holmestrand og Re kommuner.

2 Grunnlagsmateriale

For vurdering av grunnforholdene i og rundt skredet er grunnundersøkelser utført av Statens vegvesen lagt til grunn. En del av grunnundersøkelsene ble gjennomført i forbindelse med planlegging og prosjektering av E18, og disse er gjengitt ref. /1/ - ref. /4/. Statens vegvesen har etter skredet utført omfattende grunnundersøkelser i området. Disse grunnundersøkelsene har blitt gjennomført med den hensikt å danne grunnlag for vurderinger knyttet til sikring av skredgropa og fremtidig gjenoppbygning av brua, samt at undersøkelsesgruppen har bedt om supplerende grunnundersøkelser for vurderinger knyttet til skredårsak. Grunnundersøkelsene som er gjennomført etter skredet er presentert i ref. /5/ - ref. /7/.

I forbindelse med undersøkelsesgruppens arbeid har det vært nødvendig med detaljert kjennskap til de topografiske forhold i området. Dette gjelder både for hvordan terrengforholdene var i tiden før og rett etter skredhendelsen, men også informasjon om hvordan terrenget eventuelt har blitt endret over tid. Undersøkelsesgruppen har hatt tilgang til kartgrunnlag fra 1973, 1990, 1998, 2006 og 2015 (etter skredet). Kartgrunnlaget fra 1973 og 1990 er økonomiske kart med ekvidistanse 5 meter, mens kartgrunnlaget fra 1998 og 2006 (Lidar[1]) har 1 meter ekvidistanse. Terrengmodell etter skredet er etablert på grunnlag av automatisert UAV – basert fotogrammetri (drone) utført av Orbiton AS på oppdrag fra Statens vegvesen.

NVE gjennomførte befaring av skredgropa 11.2.2015, med den hensikt å kartlegge tilførte masser i skredgropa. Resultater er beskrevet nærmere i befaringsnotat, vedlegg 2. NVE har også gjennomført befaring for kartlegging av mulig erosjon langs Mofjellbekken, nærmere beskrevet i befaringsnotat, vedlegg 6.

Flere befaringer i skredområdet er gjennomført, og observasjoner og bilder fra disse har vært sentrale for vurderinger av skredutvikling og bruddmekanisme.

Undersøkelsesgruppen har utført intervjuer med de direkte berørte parter av hendelsen. Ingen opplysninger fra intervjuer er brukt uten bekreftelse i grunnlagsmaterialet. Siden undersøkelsesgruppen kun gjennomfører vurderinger omkring teknisk årsakssammenheng til skredhendelsen, er intervjuene kun utført med tanke på å belyse og evt. fremskaffe informasjon som kan være av betydning for disse vurderingene.

I tillegg til grunnlagsmateriale beskrevet i avsnittene over, har undersøkelsesgruppen benyttet bilder og film fra befaringer, drone, og media, samt flybilder, som støtte i vurderingene. Flybilder er hentet fra www.norgeibilder.no, og er fra 1954, 1959-1979, 2002, 2007, 2010, 2011. I tillegg er et flybilde fra Google, tatt fra under brubyggingen benyttet.

Som grunnlag for vurdering av påvirkning fra trafikkrystelser er det utført rystelsesmålinger på Gutufossen bruer. I tillegg er det benyttet erfaringstall fra tidligere rystelsesmålinger ved arbeid med tunge maskiner på bløt leire.

Temperatur – og nedbørsdata er benyttet i arbeidsgruppens vurderinger. Disse er presentert i vedlegg 8.

[1] LIDAR (Light Detection And Ranging) er en avbildningsteknologi som gir nøyaktige tredimensjonale modeller av terrenget. For å lage høyoppløselige kart benyttes som oftest luftbåren LIDAR – skanning.

3 Vurdering av skredhendelsen

Vurdering og beregninger som er gjennomført i denne rapporten er utført iht. etablert praksis i det geotekniske fagmiljøet i Norge. Det vises spesielt til NVEs veileder 7/2014 for vurdering av områdestabilitet og utførelse av stabilitetsberegninger.

Stabilitetsberegningene er i sin helhet dokumentert i eget tekniske notat, se vedlegg 1. Resultater fra beregningene er i denne rapporten presentert i kapittel 3.3 «Vurdering av årsaksforhold».

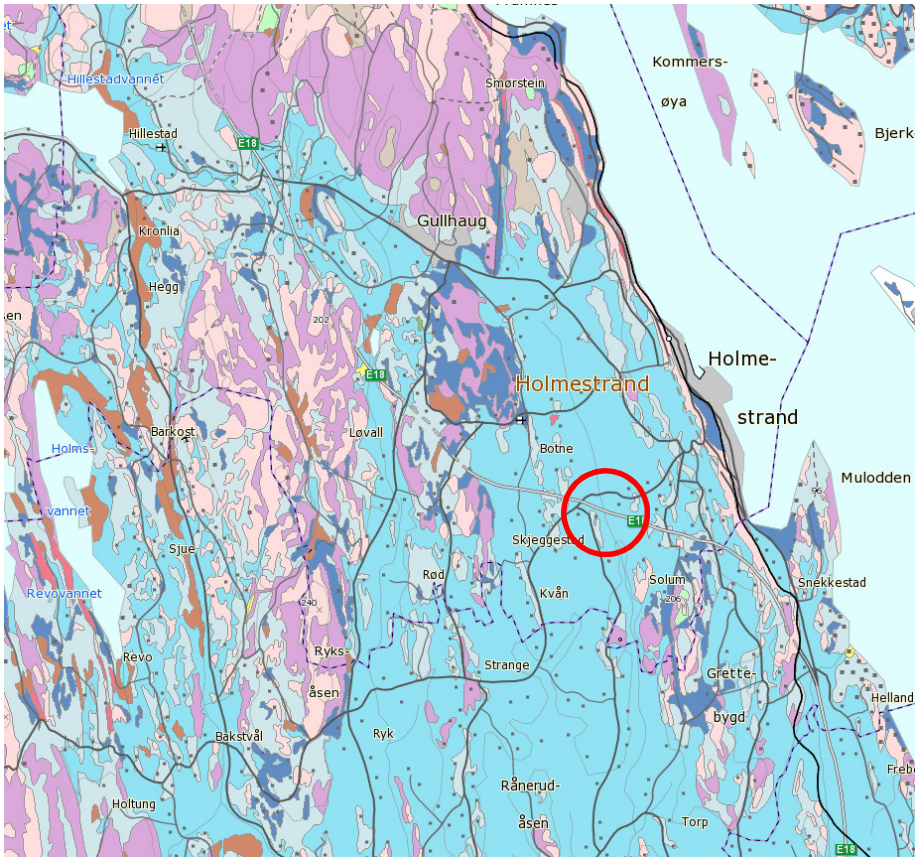
3.1 Grunnforhold

Løsmassene i området består av leire og silt[2], som er avsatt på sjøbunnen under avsmeltingen av innlandsisen ved slutten av siste istid. Skredområdet ligger mellom Raet i sørøst og "Ås – Ski trinnet" i vest, hhv. avsatt 10 600 og 10 200 – 10 400 før nåtid. Havnivået den gang tilsvarer dagens kote 185 – 200 moh., jfr. marin grense. Massene sedimenterte seg i vekslende lag av leire og silt på sjøbunnen, som da kunne bestå av rent blankskurt berg eller morenemasser fra isen. Typisk vil sedimenteringen over tid generere tykkere lag i forsenkninger, og ved store mektigheter viske ut terrengforskjeller i underliggende grunn av berg og morene. Undersøkelsene tyder på at leira de fleste steder ligger direkte på berggrunnen, og at ev. morenelag er tynt eller fraværende. Løsmassekartet i figur 2 (ref. www.ngu.no) viser at det er tykk havavsetning ved Mofjellbekken bruer.

Området ligger innenfor Oslofeltet, som mange steder består av vulkanske bergarter, her representert ved en rombeporfyr. Berggrunnen følger en nær nord-sørgående struktur av rygger og forkastninger, parallelt med f.eks. kyststripen Holmestrand – Framnes, Langøya – Kommersøya, Ryksåsen og Holmsvatnet. Grunnundersøkelsene viser at det ligger en dyp bergkløft under løsmassene langs Mofjellbekken, med inntil 38 meter til berg. Dette hører til en forkastning som mest sannsynlig følger samme nord-sørgående struktur. Laboratorieundersøkelsene tyder på at løsmasser avsatt i denne bergkløften delvis fylte den igjen. Bergkløften ble således en forsenkning / dal i det nye landskapet. Dette har da blitt en naturlig drensvei i det sjøbunnen steg over havoverflaten, og dannet opprinnelsen for Mofjellbekken.

Mofjellbekken har etter landhevningen erodert seg 15 – 20 meter ned i den opprinnelige sjøbunnen, og dannet en ravine gjennom de lagdelte sedimentene av leire og silt. Bekken meandrerer langs en lang strekning pga. relativt flatt terreng og lav strømningshastighet. Det vises for øvrig til eget notat, vedlegg 6, for mer utfyllende vurdering av erosjon.

[2]Silt er fraksjonen mellom leirpartikler (<0,002 mm) og sandpartikler (> 0,063 mm)

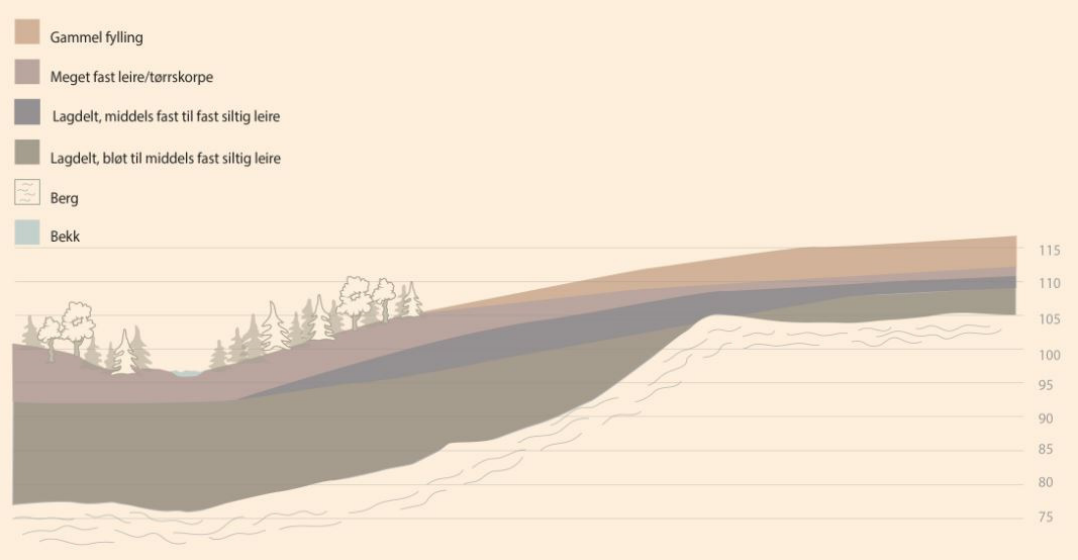


Figur 2 Løsmassekart. Lys blå farge viser løsmasser av silt og leire avsatt på sjøbunnen. Mofjellbekken bruer er markert med rød sirkel (kilde: www.ngu.no)

Etter hvert som Mofjellbekken har erodert seg ned gjennom løsmassene har nivåforskjellen mellom grunnvannet på sideplatåene og bekken økt, og gitt grunnlag for strømning av grunnvann gjennom berggrunnen og leirmassene og inn mot bekken. Denne strømningen har gjennom tusener av år medført en utvasking av saltet i grunnvannet[3], og derav dannet kvikkleire under bunnen av ravinen. Det er ved prøvetaking ikke påvist kvikkleire langs hele skredets lengde, men tolkning av grunnundersøkelser i eller tett ved skredgropa gir klare indikasjoner på at det har vært en sammenhengende kvikkleireforekomst langs bunnen av ravinen. Det er også observert at en del flytende kvikkleire er blitt skviset ut fra skredmassene og flytt nedover Mofjellbekken, ref. vedlegg 6. I tillegg tyder de store skredbevegelsene på at en del kvikkleire har vært involvert, og til sammen er det derfor rimelig å anta at det var en sammenhengende forekomst av kvikkleire nede under Mofjellbekken langs hele skredets lengde.

De originale løsmasser består i de øverste 3 – 5 meter av relativt fast leire og tørrskorpe. Under dette laget er det bløtere masser av lagdelt silt og leire. Den opprinnelige lagdelingen har stedvis blitt endret gjennom årene ved bakkeplanering og utfylling, ref. kap. 3.3.3, og illustrert på plott i vedlegg 3. Dette gjør at det enkelte steder ligger fyllmasser over original grunn, som vist i figur 3.
Figur 3 viser også at det på siden av fjellkløften og ravinen er en relativt markant fjellterskel. Figur 6 i kap. 3.2 viser plasseringen av fjellterskelen, vist som et fjellkotekart.

[3] Grunnvannet er i utgangspunktet salt fordi leira er sedimentert i saltvann



Figur 3 Lagdeling i Profl U-U i skråningen ned mot Mofjellbekken.

Det er utført trykkmålinger i grunnvannet som tyder på at grunnvannsstrømningen er nær horisontal i løsmassene under skråningen. Siden grunnen er sterkt lagdelt med vekslende lag av leire og silt er det naturlig å tenke seg at grunnvannstrømmen følger disse lagene. I bunnen av ravinen viser grunnvannsmålinger at det er oppadrettet grunnvannsstrømning og derav *artesisk trykk.* Dette er normalt i bunnen av raviner. Målinger på toppen av skråningen viser at strømningen er delvis nedadrettet.

3.2 Skredutvikling og forløp

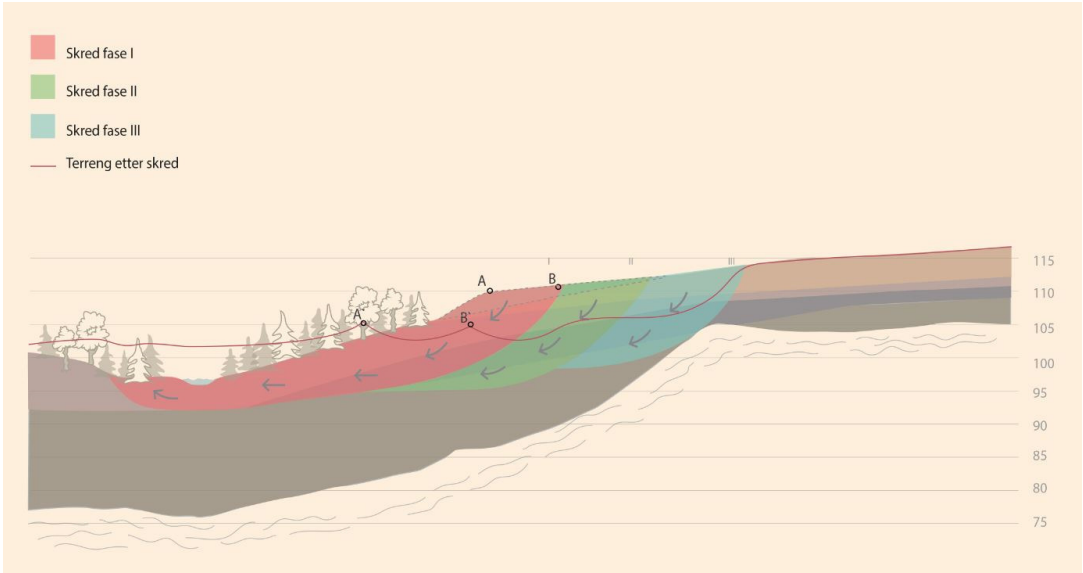
Skredets utvikling kan grovt sett deles inn i tre hovedfaser, I, II og III. Den første fasen av skredet, merket med I på figur 4 og figur 5, omfattet primært området hvor det er antatt at det har vært en viss mektighet av tilførte masser. Terrenget senket seg i bakkant så mye som 10 meter, og beveget seg ca. 20 meter horisontalt i retning mot Mofjellbekken, noe mindre mot nord. Bruddflaten[4] ser ut til å ha gått noen meter ned i kvikkleireforekomsten, og bruddet antas å ha fulgt dette laget tilnærmet horisontalt over til motsatt side av bekken.

Den ca. 10 meter høye bruddkanten etter fase I bidro sannsynligvis til at skredet nesten umiddelbart forplantet seg bakover i fase II. Samtidig dro denne fasen av skredet med seg flankene, spesielt under bruene, noe mindre ved flanken i sør. Siste fase III av skredutviklingen har hatt mer karakter av lokalt grunnbrudd langsmed de høye skredkantene.

Selv om det er identifisert tre forskjellige faser av skredutviklingen, kan disse ha inntruffet med meget korte tidsintervaller. Mellom fase I og fase II kan det være snakk om sekunder heller enn minutter, noe også maskinførers beskrivelse tyder på. Fase III som har hatt mer preg av lokale brudd i de steile skredkantene, strakk seg over noen dager. Det er også observert leirmasser som er skviset ut av skredgropa, noe som tyder på at skredet har utviklet seg hurtig, og støtter opp under vurderingen om at fase I og fase II har skjedd med få sekunders mellomrom.

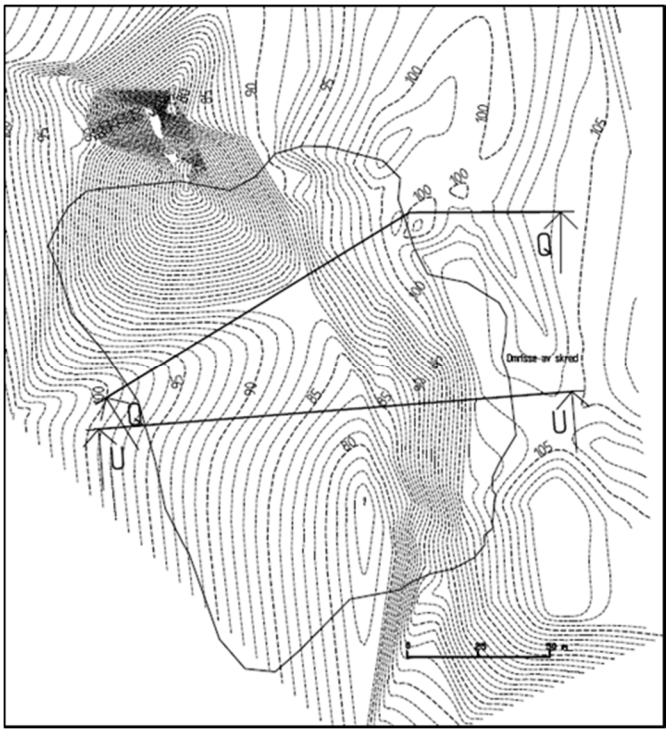
[4] Et skred utvikler seg langs enn bruddflate i jorda, og er her vurdert ut fra grunnundersøkelser utført i etterkant av skredet.

Figur 4 Skredets utvikling i plan. Også vist i vedlegg 5 med forskjellig underlag



Figur 5 Skredets utvikling i profil U-U ned mot Mofjellbekken

Utbredelsen av skredet bakover, samt sideveis, har blitt begrenset av flere forhold. Tilnærmet parallelt med Mofjellbekken vises det en markert fjellterskel noe opp i skråningen ca ved terrengkote +113 – +115, se figur 6.



Figur 6 Fjellkotekart

Som vist i figur 5 har skredet stoppet tilnærmet ved denne fjellterskelen. Fjellterskelen løper også inn under tilløpsfyllingen til brua, og har således medvirket til at skredet ikke har bredt seg dit. I tillegg er skråningen rett ved brua - og videre på nordsiden - noe slakere, noe som normalt betyr bedre stabilitetsforhold. Utbredelse av skredet videre i sørlig retning har blitt begrenset av at skredmassene delvis har sklidd noe ned Mofjellbekken, og dermed virket stabiliserende på skråningen i dette området. Lagdelingen i området har også spilt en sentral rolle i skredets relativt begrensede utbredelse. Grunnundersøkelsene viser at kvikk/sensitiv leire i all hovedsak er begrenset til nedre del av bekkedalen, og har begrenset utbredelse opp i skråningen. I tillegg er det gjennomgående faste masser i toppen – dels fyllmasser – som har dannet solide flak og som har begrenset muligheten for skredmassene i å strømme videre nedover Mofjellbekken. Det vises for øvrig til vedlegg 7 for mer detaljert beskrivelse av skredforløpet.

Bilde vist som figur 7 viser tydelige avleiringer i bekkedalen nedstrøms skredet etter leirmasser som ble skviset ut av skredgropa. Avleiringene er synlig på vegetasjon og trær ca. 500 m nedover bekkedalen. Like nedstrøms skredet er avleiringene ca. 1 – 1,5 m opp på trærne. Volumet fra opprinnelig terreng og opp til topp avleiring på vegetasjon og trær er vurdert til å være i størrelsesorden 10 000 m3. Det vises forøvrig til vedlegg 6 for mer informasjon.

Figur 7 Tydelige spor av skredmasser like nedenfor skredgropa (Foto: NVE)

3.3 Vurdering av årsaksforhold

3.3.1 Generelt

I dette kapittelet om årsaksforhold vil det bli referert til geotekniske beregninger som er utført for å vurdere skråningens stabilitet under ulike laster og forutsetninger. Ved geotekniske beregninger skilles det mellom korttidsstabilitet og langtidsstabilitet, dette fordi leiras bruddstyrke er tidsavhengig og dermed avhengig av lastendringens hastighet. De to analysemetodene gir ofte vesensforskjell i resultat. Beregning av langtidsstabilitet kan utføres for en stasjonær situasjon der det ikke forventes å skje noen lastendringer, f.eks. i en naturlig skråning. Det kan også utføres en korttidsanalyse i denne situasjonen, men dette vil være for å undersøke hva skråningen vil kunne tåle av raske lastendringer før den går til brudd, og forteller slik sett noe om skråningens robusthet eller bæreevne. For øvrig utføres korttidsanalyser for situasjoner der det planlegges med raske lastendringer, f.eks. for en utgraving eller oppfylling.

En skråning*s stabilitet* utrykkes gjerne i form av en sikkerhetsfaktor, F. Denne fremkommer ved en likevektsbetraktning mellom jordens (1) bruddstyrke og (2) drivende gravitasjon, representert ved en brøk mellom disse:

$$F = \frac{(1)}{(2)},\ \text{F} < 1{,}0 \text{ betyr grunnbrudd}$$

3.3.2 Naturlig påvirkning på stabilitetsforholdene

Naturlige årsaker til utløsning av både små og store skred kan være erosjon, økt/høyere grunnvannstrømning eller økning av *poretrykket* [5]. Tidsaspektet for at slike situasjoner skal oppstå kan variere, men erosjonen må vare over en så lang periode at man kan registrere endringer i bekke- eller elveleiene.

Erosjon, grunnvann og poretrykk er særlig avhengig av jordtyper, lagdeling og omfang av tele i bakken. Tele i bakken vil hindre infiltrasjon og erosjon og grunnvannstrømning, og kan således bidra til å redusere skredfaren. Nedbørsdata fra nedbørstasjoner nærmest Mofjellbekken

[5] Grunnvannstrykket betegnes *poretrykk* i geoteknisk terminologi, da grunnvannet fyller porene mellom leirpartiklene i en leire (ev. sandkornene i en sand).

(stasjoner med målingen over minst en 10-årsperiode) er brukt som grunnlag for vurderinger. Daglig nedbør og temperaturmålinger fra januar og februar 2015, samt sammenligning av normalnedbør (fra målestasjoner i nærheten der man har målinger fra minst 10 år) kontra nedbør fra mars 2014 til skredet gikk, er vist i vedlegg *8*. Nedbøren i januar 2015 lå over normalen. Gjennomsnittstemperaturen var i samme periode ca. 0,2°C.

Mofjellbekken er en meandrerende bekk, med relativt lite fall på den aktuelle strekningen. Det er i etterkant av skredet utført en studie av erosjonsforholdene oppstrøms og nedstrøms skredet, gjengitt i vedlegg 6. Denne viser at den erosjonsvirksomheten som foregår er punktvis knyttet til overflatevann og grunnvann i sideterrenget, og gjør seg utslag ved ravinedannelser.

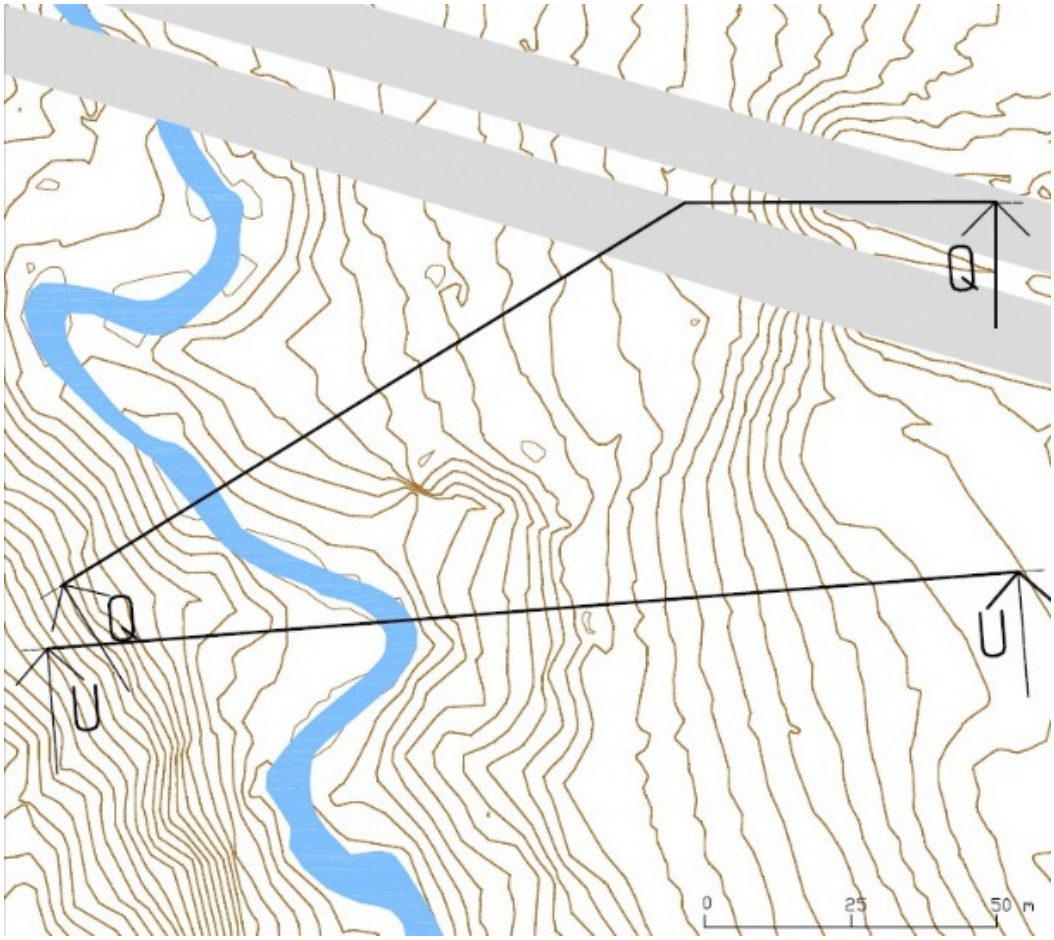
For å videre studere potensialet for naturlig skredvirksomhet og mulighet for et *initialskred* [6] i ravineskråningen er det utført noen analyser av ravineskråningens naturlige langtidsstabilitet (ref. kap. 3.3.1) for situasjonen slik terrenget var før den siste fyllingen ble lagt ut. Det er da tatt hensyn til at grunnvannstanden kan ha ligget helt i terreng ned mot bekken. Stabilitetsanalysene er gjennomført i to profiler, profil U-U og profil Q-Q. Profilenes plassering er vist på situasjonskartet, figur 8. Analysene viser at det er relativt god naturlig stabilitet, og at de utglidningene som gir beregningsmessig dårligst stabilitet kun involverer det øvre laget av faste masser, se figur 9.

Brudd i slike masser medfører relativt små deformasjoner, legger seg raskt til ro i skredgropa[7] og hindrer videre skredutvikling. Et slikt grunnbrudd medfører liten tilleggsbelastning i omkringliggende grunn. Det er derfor vanlig å anta at et initialskred må berøre kvikk- eller sensitiv leire med dertil stor deformasjon for å kunne utvikle seg til et større skred. Naturlig stabilitet for slike dypere glidninger som går ned i underliggende masser med sprø bruddegenskaper er også god, og dermed lite sannsynlige, jfr. beregning (2) i figur 9.

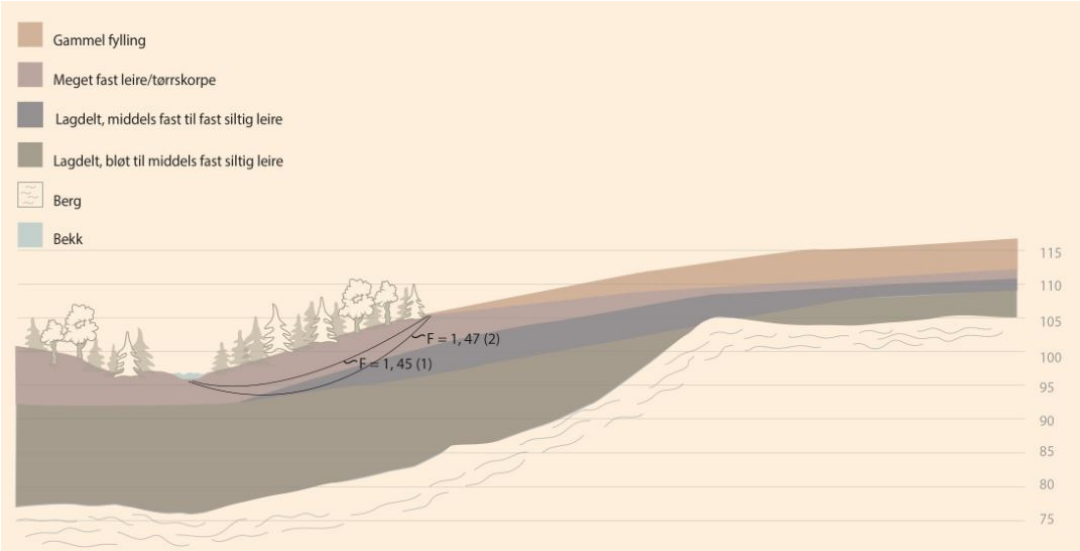
Med bakgrunn i observert erosjonsaktivitet oppstrøms og nedstrøms skredet, samt beregninger av skråningens naturlige stabilitet, er undersøkelsesgruppen av den oppfatning at det er meget liten sannsynlighet for at naturlige prosesser kan ha medført skredet som gikk.

[6] Et mindre skred som gir starten på utvikling av et større skred, typisk i kvikkleire kalles ofte for et *initialskred*

[7] Dette beskriver et *seigt grunnbrudd*, til forskjell fra et *sprøtt grunnbrudd* som medfører raske brudd med store deformasjoner



Figur 8 Oversiktskart med profilenes plassering



Figur 9 Profil U-U Beregning av skråningens naturlige langtidsstabilitet (1) beregnet laveste sikkerhetsfaktor F = 1,45. og (2) laveste sikkerhetsfaktor for bruddflate som berører underliggende leire, F = 1,47

3.3.3 Menneskeskapte påvirkninger på stabilitetsforholdene

Vurdering av menneskeskapt påvirkning på stabilitetsforholden er i hovedsak basert på de terrengendringer som er vist i vedlegg 3, samt vurdering av tilførte masser i tiden før skredet, beskrevet nærmere i vedlegg 2 og vedlegg 9. De aktivitetene som har vært kjent for

undersøkelsesgruppen er beskrevet under de ulike tidsperiodene, ca. 1950 – 1990, 1998 – 2006 og 2006 – 2015. For perioden 2006 – 2015 er det i hovedsak terrengarbeider i tiden rett forut for skredet som har vært kjent. Det er i tillegg utført vurderinger av hvilken påvirkning trafikkrystelser fra brua, samt vibrasjoner fra bulldoser benyttet ved terrengarbeidene i tiden forut for skredet, kan ha hatt på stabiliteten

For å vurdere omfang av terrengendringer er det gjort terrenganalyser i GIS[8] av tilgjengelige kart. Ut fra de tilgjengelige kartene er det delt opp i tre tidsperioder: 1973-1990, 1998-2006 og 2006-2015. Kvaliteten og nøyaktigheten på kartgrunnlagene varierer, og omfanget av terrengendringer presentert i Vedlegg 3 er derfor noe usikkert. Analyse fra de tidlige kartene (1973 og 1990) med 5 meters ekvidistanse gir noe dårligere nøyaktighet, men kvaliteten vurderes å være god nok for formålet. Terrengmodell basert på laserdata fra 2006 har redusert kvalitet i tettvokste områder, mens terrengmodell generert på dronedata fra 2015 er manuelt justert der trær har hindret sikt.

Tidsperiode ca. 1950-1990

Det har vært utført bakkeplanering (fylling, graving og drenering) i området over tid for å gjøre jorda dyrkbar. Området like syd for brua, hvor skredet er gått, tilhørte denne tidsperioden Bakke gård. Dokumentasjon mottatt fra Holmestrand kommune viser at det for eiendommen Bakke gård er gjennomført drenering og planering i 1955 og 1973, se vedlegg 11. Flere raviner som tidligere var i området og som typisk gikk i nordøstlig-sørvestlig retning, er blitt gjenfylt. Drensrør ble gjerne lagt i bunnen på ravinene når disse ble gjenfylt.

Analyser av terrenget fra gamle kart viser opp til 5 m tilførte masser og opp til 4 m masse fjernet i perioden 1973 til 1990 for eiendommen Bakke gård, se vedlegg 3-1. Den gjenfylte ravinen som ligger i område for skredgropen er fylt med opptil 4 m masse, se vedlegg 11. Den gjenfylte ravinen vises på flyfoto fra 1954, se vedlegg 4-5. Bakkeplaneringen med igjenfylling av raviner og nedplanering av høyder og topper, vurderes i utgangspunktet å være gunstig med tanke på stabiliteten. Vannlekkasjer fra drensrør eller utvasking ved rørenes utløp kan med tiden skje hvis rør ødelegges eller skjøter blir utette/glir fra hverandre. Observert synkehull mellom E18 og golfbanen kan være et tegn på ødelagt eller utett rør. Det er noen steder registrert utvasking rundt drensrør langs bekken opp- og nedstrøms skredområdet, se vedlegg 6, og det kan således ikke utelukkes at drensrøret i bunn av den gamle ravinen har medført noe utvasking. Dette vurderes likevel kun å påvirke stabiliteten i det øvre jordlaget, og har derfor ikke vært medvirkende årsak til skredet, se forøvrig kapitel 3.3.1.

Tidsperiode 1998-2006

Bygging av Mofjellbekken bruer ble gjennomført i perioden 1998 og til 2001. Vestre bru (sørgående trafikk) ble bygget først, mens østre bru (nordgående trafikk) ble bygget mellom 2000 og 2001.

I forbindelse med byggingen ble det etablert anleggsveg parallelt med bruene på den sørlige siden, fra vestlig retning og ned mot Mofjellbekken, samt fra nord parallelt med Mofjellbekken. Anleggsvegene ble bygget før selve bruarbeidene begynte.

Der det krevdes bedre bæring for anleggsmaskiner, lagerplass eller utjevning av traubunn under fundamenter ble det fylt med sprengstein. Det ble også masseutskiftet[9] noe for å unngå setninger under stillas.

[8] GIS, eller geografiske informasjonssystemer er datamaskinbaserte systemer som brukes til å registrere, modellere, lagre, hente, manipulere, analysere og presentere geografisk refererte data

[9] Stedlige masser graves ut og erstattes med sprengstein

Ved installasjon av flere av pelene ble det observert rennende vann opp fra fôringsrør hvilket tyder på artesisk vanntrykk i sonen ned mot fjelloverflaten

Prosjektering av golfbanen begynte i 2001. Banen ble bygget i to trinn, med 9+9 hull i henholdsvis 2002 og 2003. For å enklere utføre drift og vedlikehold ble det etablert mindre veger, etablert dreneringssystem under greener og et vanningsanlegg for golfbanen.

Terrenganalysen fra tidsperioden 1998 – 2006 vises i vedlegg 3-2. Det er tilført opp til 3 meter masse i området under bruene, mens fylling (tilløpsfylling) for de østre landkarene har en høyde på over 8 meter. Av vedlegg 3-2 kan man se at det i forlengelsen av tilløpsfyllingen mot sør og vest - over nordre del av golfbanen - er tilført masser, og at disse fyllingsarbeidene delvis berører det kritiske profil U-U. De tilførte massene er videre vist som lag «gammel fylling» i figur 3. Stabilitetsberegninger som er gjennomført viser at denne utfyllingen har redusert skråningens korttidsstabilitet med i størrelsesorden 14%, og dermed spist av sikkerhetsmarginen, se tabell 1. For øvrige deler av golfbanen viser terrenganalysen at det er tilført opp til 3 meter med masse i enkelte områder, mens det er fjernet opptil 2 meter på et par steder. Disse endringene vurderes til å ikke ha påvirket stabiliteten i skredområdet.

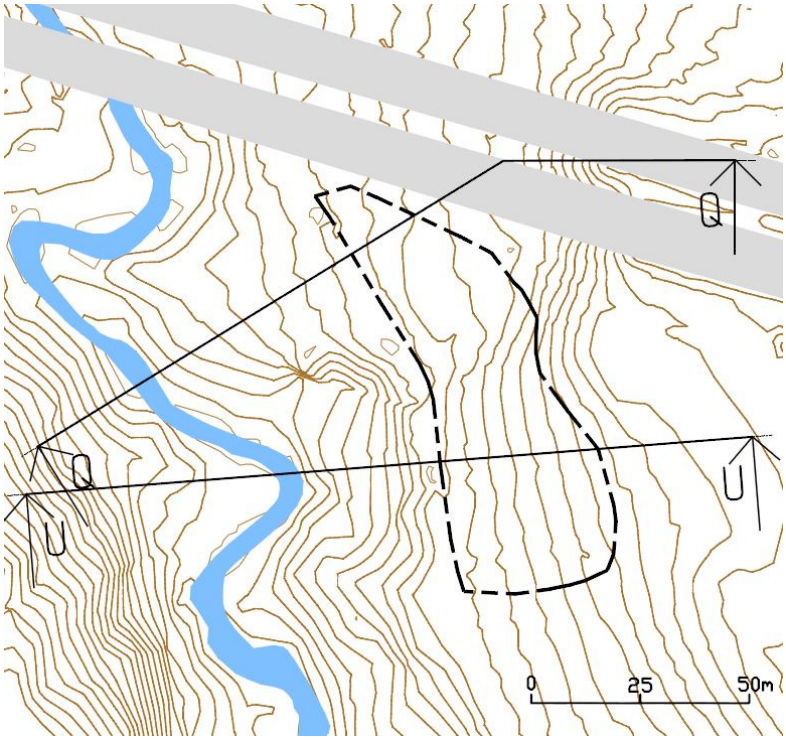
Videre viser terrenganalysen en del terrengendringer i vegetasjonsbeltet langsetter Mofjellbekken, bla.a. opptil 2 meter med fjernet masse sentralt der hvor skredgropa er. Dette kan forklares med et ufullstendig datagrunnlag (LIDAR – data) fra 2006, og vurderes således ikke som reelle terrengendringer.

Terrengarbeider høst 2014/vinter 2015

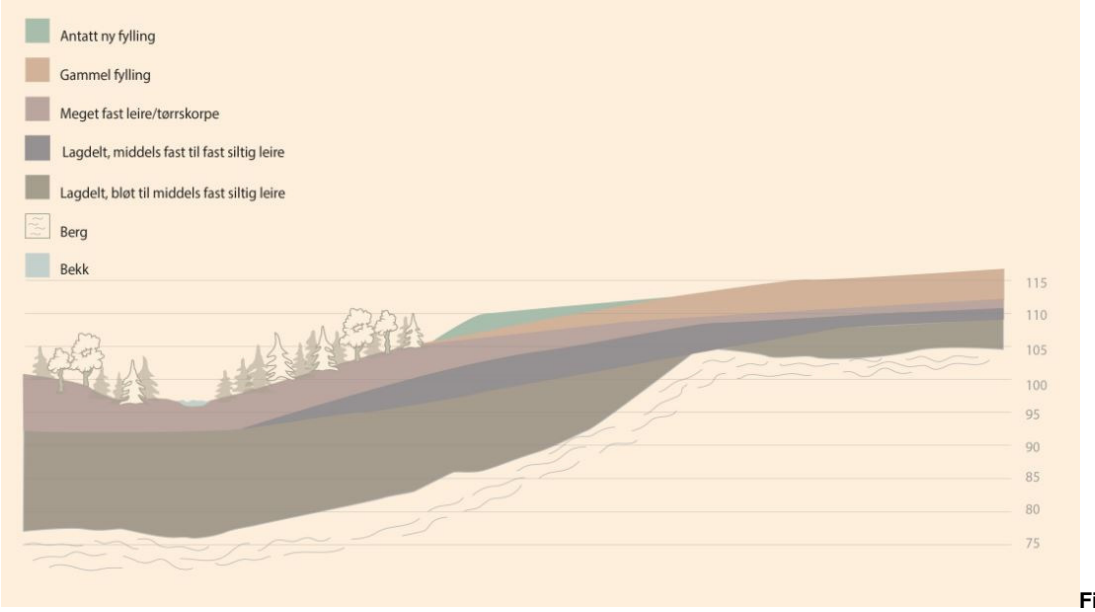
I tiden forut for skredet er det blitt tilført masser i området sør for Mofjellbekken bru. Det forelå ingen konkrete nedtegnede planer for dette arbeidet.

Omfang av tilførte masser er vurdert på grunnlag av innmålinger utført i skredgropa, samt bilder fra befaring og film – og fotomateriale fra drone (UAV). Det er i tillegg fremkommet opplysninger i samtaler med entreprenør/maskinfører og grunneier som også er med og danner grunnlag for undersøkelsesgruppas vurdering. Det vises for øvrig til vedlegg 2 og vedlegg 9 for mer utfyllende detaljer og vurderinger knyttet til fyllingens plassering og mektighet.

Fyllingas antatte plassering i plan er vist på figur 10 under, samt på forskjellige plott i vedlegg 3, 4 og 5, mens fyllingens antatte plassering og utforminger er vist i profil U-U i figur 11.



Figur 10 Fyllingens antatte plassering i plan. Avgrensing av fylling vist med stiplet sort strek.



Figur 11 Fyllingens antatte plassering i profil U-U

Basert på vurdering av fyllingens avgrensing og mektighet, mer detaljert beskrevet i vedlegg 9, er omtrentlig totalt volum beregnet til ca. 3500 m^3. Mektigheten av fyllingen varierer i profilet, men har en gjennomsnittlig mektighet i størrelsesorden ca. 1.5 – 1.6 meter.

Som påpekt i vedlegg 9, er det en del usikkerhet knyttet til disse vurderingene. Det er derfor utført stabilitetsberegninger for to forskjellige størrelser av fyllingen, for bedre å kunne vurdere effekten av forskjellige fyllingsvolum. Det er tatt utgangspunkt i et totalt volum som tilsvarer det som er vist og beskrevet i vedlegg 9, tilsvarende vist i figur 10 og figur 11. Beregninger er utført i to profiler, hhv. U-U og Q-Q, plassering vist på figur 10. Profil U-U går sentralt gjennom skredet hvor terrenget samtidig var på det mest ugunstige, dvs. med bratt helning ned mot bekken. Profil Q-Q går gjennom skredets nordre del under brua, hvor terrenget var langt

slakere enn i profil U-U. Begge profiler følger skredretningen i respektive deler av skredet. Profil U-U tilsvarer også tilnærmet et gjennomsnitt av fyllingen langs skråningen hvor skredet har hatt størst bevegelse, og vurderes således som representativt for problemstillingen knyttet til fyllingens påvirkning på stabiliteten i skredområdet. Det er utført stabilitetsberegninger i Profil U – U for følgende to alternative fyllingsstørrelser:

Alternativ 1: Fyllingsvolum som beskrevet i vedlegg 9 – ca 3500 m^3
Alternativ 2: ca. 75 % av totalt fyllingsvolum som beskrevet i vedlegg 9 – ca 2600 m^3

Stabilitetsberegninger er dokumentert i vedlegg 1.

Leiras bruddstyrke er vurdert ut ifra grunnundersøkelser utført etter skredet. Det er ikke mulig å finne opprinnelig bruddstyrke i den leira som gikk med i skredet, så data fra grunnundersøkelser i omkringliggende grunn er ekstrapolert inn i beregningsprofilet. Siden det er en viss spredning i tilgjengelige data er det ikke grunnlag for å si sikkert hvor god stabiliteten var før siste utfylling ble utført. Dersom vi i prosjekteringssammenheng med samme datagrunnlag skulle beregnet skråningens stabilitet mot en korttids lastendring ville resultatet blitt at den praktisk talt ikke ville tåle noen tilleggslast. Dette kan bety at den reelle bruddstyrken i leira er noe høyere enn det målingene viser, og i tillegg at noe *geometrieffekter* [10] må tas med i betraktningen. Skredets utvikling tyder på at det reelt sett har vært geometrieffekter med i bildet, ref. beskrivelse i vedlegg 7 om at "flankene" har blitt revet med i skredet. Dette understøttes også av at beregnet stabilitet i profil Q-Q er god, se under. Disse forholdene er da tatt hensyn til ved en samlefaktor på 10% øket bruddstyrke, slik at resultatet stemmer med skredets omfang og dybde samt at den går til brudd ved det fyllingsomfanget som anses mest sannsynlig, dvs. alt. 1 (ref. vedlegg 9). Tilbakeregningen av skredet er da et utgangspunkt for å beregne den relative endringen i sikkerhetsfaktor fra situasjonen før fylling til en situasjon med ulike fyllingsalternativer.

I profil U-U er det i alt utført fire beregninger av skråningens korttidsstabilitet, se Tabell 1:

Tabell 1 Beregnet korttidsstabilitet i profil U-U

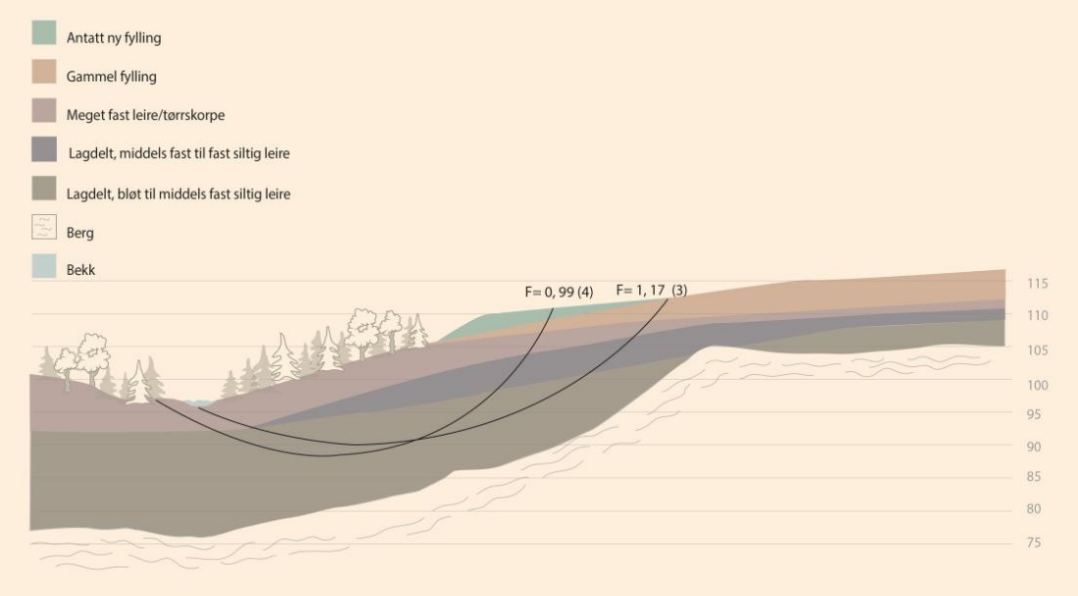
Situasjon	Sikkerhetsfaktor, F	Relativ endring fra A	Relativ endring fra B
A. Ved terreng anno 1998[11]	1,36		
B. Før siste fylling ble lagt ut[11]	1,17	14%	
C. Fylling alt. 1	0,99	27%	15%
D. Fylling alt. 2	1,04	23%	11%

Kritiske bruddflater for beregning B og C er vist i figur 12. Ut fra tabell 1 kan vi trekke følgende slutninger:

- Tidligere fyllingsarbeider (mellom 1998 og 2006) har bidratt til å "spise" av sikkerhetsmarginen

[10] Dersom sikkerhetsfaktoren varierer langs en skråning vil terrenget der stabiliteten er dårligst til en viss grad bli støttet av sideterrenget der stabiliteten er bedre. Dette oppstår f.eks. dersom en fylling har begrenset utstrekning langs en skråning.
[11] I disse situasjonene er det ikke påført en ytre last, eller det er antatt lenge siden lasten ble påført, ref. kap. 3.3.1. Beregningen forteller i stedet noe om hva den kunne tåle av hurtige tilleggsbelastninger før den gikk til brudd, dvs. et mål for skråningens korttids *bæreevne*.

- Fyllingen som var i ferd med å bli lagt ut reduserte sikkerhetsfaktoren med 10 - 15%. Det anses meget sannsynlig at en forverring av denne størrelsesorden var tilstrekkelig til å føre skråningen til brudd



Figur 12 Beregning av stabilitet for (3) før siste fylling ble lagt ut (F=1,17) og (4) mest sannsynlige utbredelse av siste fylling (F = 0,99)

Profil Q-Q følger skredretningen gjennom skredets nordre del under brua, hvor terrenget var langt slakere enn i profil U-U. Det er utført to beregninger av skråningens korttidsstabilitet, ref. vedlegg 1. Beregningsmessig laveste sikkerhetsfaktor er F = 1,45, dvs. ganske høy. Beregningsresultatene tyder for det første på at skredet neppe har startet i denne skråningen og dessuten at skråningen må ha blitt påført en betydelig ytre last siden den likevel gikk til brudd. Denne lasten er sannsynligvis representert ved at skredbevegelse I har påført en betydelig sidekraft og "revet" jordmassene med, ref. kap 3.2 og vedlegg 7.

Det kan observeres at skredet stoppet ved fjellterskelen, som da trolig har stoppet skredet fra å nå tilløpsfyllingen til brua. Et fjellkotekart er vist sammen med skredets utbredelse i Figur 6, se kap. 3.2. Dette viser tydelig hvordan fjellterskelen har vært bestemmende for utbredelsen av skredet

Med bakgrunn i sammenfall i tid, skredets omfang og utvikling, samt beregnet korttidsstabilitet i det mest kritiske profilet anses det overveiende sannsynlig at fyllingen som ble lagt ut i tiden forut for skredet var den utløsende faktoren for skredet.

Virkning av rystelser på stabiliteten

Det er utført en vurdering av hvilken påvirkning trafikkrystelser fra brua og vibrasjoner fra bulldoseren kan ha hatt på stabiliteten.

Når det gjelder trafikk på moderne veger og bruer av høy kvalitet og med god jevnhet har det vært en generell oppfatning at vibrasjonene som genereres er for svake til å kunne påvirke grunnen. Imidlertid foreligger det fra tidligere lite måledata som kan dokumentere dette. I forbindelse med denne vurderingen ble det derfor utført vibrasjonsmålinger på fundamenter og i bakken ved Gutufossen bru, som ligger på samme vegstrekning og ellers er sammenlignbar med Mofjellbekken bruer med tanke på fundamentering og grunnforhold. I en periode over ca. to døgn er det registrert små rystelser, tilvarende en påkjenning som ligger en til to tierpotenser lavere enn terskeltøyningen for leira. Ved påkjenninger under terskeltøyningen vil det ikke skje

noen irreversible endringer i leira, uansett hvor mange svingninger den blir utsatt for. Det kan derved konkluderes med at vibrasjoner fra vegtrafikken på Mofjellbekken bruer ikke har medvirket til å forårsake utglidningen av skråningen og svikten i brufundamentet. En mer utførlig redegjørelse kan leses i vedlegg 10.

Det foreligger ikke vibrasjonsmålinger fra bulldoser under arbeid av den typen som ble benyttet på fyllingen ved Mofjellbekken bruer. Overslagsberegninger av rystelsesnivå ved bruk av en tilsvarende doser stemmer imidlertid rimelig bra med målinger som er gjort ved tunge beltegående gravemaskiner på kvikkleire / bløt leire ved Bekkeveien i Bærum. Dette nivået ligger noe under det som i NS 8141, ref. /9/, er satt som en konservativ grenseverdi for rystelser fra bergsprengning. Det anses derfor lite trolig at vibrasjoner fra bulldoseren i arbeid kan ha bidratt til å utløse skredet ved Mofjellbekken bruer. En mer utførlig redegjørelse kan leses i vedlegg 10.

4 Oppsummering

Det er gjennomført vurderinger av teknisk årsakssammenheng for skredet ved Mofjellbekken bru 3.2.2015. Undersøkelsesgruppen har sett på mulige årsaker til at skredet ble utløst, samt utført en vurdering av skredets forløp/utvikling.

Det har blitt vurdert naturgitte forhold som erosjon og nedbør, samt menneskeskapte inngrep i terrenget som kan tenkes å ha vært av betydning for stabiliteten i området. Inngrep som har blitt vurdert har vært jordbruksplanering, bygging av E18, etablering av golfbane og utført utfylling/planering i tiden forut for skredet. Det er i tillegg blitt utført vurderinger knyttet til vibrasjoner og rystelser fra E18 og anleggsarbeider i nærheten.

Undersøkelsesgruppen har vurdert at det er tilstrekkelig sannsynliggjort at det var utfyllingsarbeidene på området til Solum golfklubb i tiden rett forut for skredet som har vært den utløsende årsaken til skredet. Sammenfall i tid, samt vurderinger av stabiliteten i området og skredets utvikling og omfang/form, støtter opp under denne konklusjonen. Stabilitetsberegningene som er utført viser at den beregningsmessige sikkerheten mot skred utløst av naturlige årsaker var god. Videre viser stabilitetsberegninger at skråningen der de utfylte massene lå, på det mest kritiske stedet hadde liten sikkerhetsmargin mot en ytre last, og at fyllingsarbeidene i tiden rett forut for skredet reduserte sikkerheten til et nivå hvor skred måtte forventes å oppstå.

Tidligere planerings- og utfyllingsarbeid i området, frem til 2006, har bidratt til å redusere sikkerhetsmarginen i skråningen.

For de andre mulige årsaker er det undersøkelsesgruppens vurdering at disse ikke har hatt noen direkte sammenheng med at skredet oppsto. Skredets form og omfang er f.eks. ikke samsvarende med et skred utløst pga. dårlig overflatestabilitet, og det er i tillegg gjennom befaring påvist lite med erosjon langs Mofjellbekken. Nedbørsforholdene i tiden forut for skredet skulle heller ikke indikere spesiell stor fare for erosjon i bekken. Disse vurderingene er bekreftet gjennom stabilitetsberegninger, som viser god sikkerhet mot skred utløst av naturlige årsaker. Rystelser som utløsende årsak til at skredet ble utløst er heller ikke vurdert som sannsynlig.

5 Vedlegg

Vedlegg 1	Norges geotekniske institutt (NGI). Rapport 20150224-01-R Skredet ved Mofjellbekken bruer – Stabilitetsberegninger. Datert 4.6.2015
Vedlegg 2	Norges vassdrag – og energidirektorat (NVE). Befaringsnotat - innmåling av tilførte masser. Datert 11.2.2015
Vedlegg 3	Norges geotekniske institutt (NGI). Kart som viser terrengendringer. - 1: 1973 - 1990 - 2: 1998 – 2006 - 3: 2006 – 2015 (etter skred)
Vedlegg 4	Norges geotekniske institutt (NGI). Situasjonsplaner som viser fyllingas antatte plassering. - 1: Underlagskart koter før skred - 2: Underlagskart koter etter skred - 3: Underlag flyfoto før skred - 4: Underlag dronebilde etter skred
Vedlegg 5	Norges geotekniske institutt (NGI). Oversiktskart som viser skredutbredelse, bevegelsesretning mv. - 1: Underlagskart koter før skred - 2: Underlagskart koter etter skred - 3: Underlag flyfoto før skred - 4: Underlag dronebilde etter skred - 5: Underlag flyfoto 1954
Vedlegg 6	Norges vassdrag – og energidirektorat (NVE). Befaringsnotat – registrering av erosjon i Mofjellbekken. Datert 17.3.2015
Vedlegg 7	Norges geotekniske institutt (NGI) v/Kjell Karlsrud. Skjeggestadskredet - noen betraktninger rundt hendelsesforløp og skredmekanisme
Vedlegg 8	Norges vassdrag – og energidirektorat (NVE). Notat nedbør og temperatur. Datert 27.5.2015
Vedlegg 9	Norges vassdrag – og energidirektorat (NVE). Notat –Vurdering av omfang tilførte masser. Datert 15.5.2015
Vedlegg 10	Norges geotekniske institutt (NGI) v/Christian Madshus – Eventuell virkning fra vibrasjoner som årsak til skredet
Vedlegg 11	Holmestrand kommune. Kart over bakkeplanering; drenering mv. for Bakke gård

6 Referanser

/1/ Statens vegvesen (1987). Grunnundersøkelser Motorveg E18 Nordre Vestfold, Vardal–Snekkestad». Rapportnr. ZD60C-1

/2/ Statens vegvesen (1987). Grunnundersøkelser Motorveg E18 Nordre Vestfold, Eik – Snekkestad, Brukryssinger». Rapportnr. ZD60D-1

/3/ Statens vegvesen (1997). E18 Nordre Vestfold, Parsell 5, Mofjellbekken Bru, Profil 30152 - 30370». Rapportnr. ZD95C-1

/4/ Statens vegvesen (2000). E18 Nordre Vestfold, Parsell 5B, Mofjellbekken bru Øst, Profil 30141 - 30359». Rapportnr. ZD95O-1A

/5/ Statens vegvesen (2015). E18 Skjeggestadbrua, Datarapport geotekniske grunnundersøkelser, Del 1–Feltundersøkelser». Sveisnr. 2015019150-8. Rapportnr. Zd-303A1

/6/ Statens vegvesen (2015). E18 Skjeggestadbrua, Datarapport geotekniske grunnundersøkelser, Del 2–Laboratorieundersøkelser». Sveisnr. 2015019150-7. Rapportnr. Zd-303A2

/7/ Statens vegvesen (2015). E18 Skjeggestadbrua, Datarapport geotekniske grunnundersøkelser, Del 2 Tillegg - Laboratorieundersøkelser». Sveisnr. 2015019150-9

/8/ Norges vassdrag –og energidirektorat (NVE). Veileder nr. 7-2014: Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper.

/9/ Standard Norge. NS 8141-3:2014. 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

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no