



SINTEF



Foto: Joakim Halvorsen, NTB

Rapport

Uavhengig gransking av jordskred ved Stavsjøfjelltunnelen øst, 4. mai 2022 E6 Ranheim - Værnes

Forfattere:

Hanne Margrethe Lund Kvitsand, Stein Olav Christensen, Ranveig Kviseth
Tinmannsvik, Stig Winge, Eivind H. Okstad, Yared Bekele, Dirk van Oosterhout

Rapportnummer: 2023:00142

Oppdragsgiver: Nye Veier



SINTEF

SINTEF Community
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Rapport

Uavhengig gransking av jordskred ved Stavsjøfjelltunnelen øst, 4. mai 2022 E6 Ranheim - Værnes

EMNEORD

Skred
Vei
Anleggsarbeid
Ekstern gransking

VERSJON

1.0

DATO

2023-01-31

FORFATTERE

Hanne Margrethe Lund Kvitsand, Stein Olav Christensen, Ranveig Kviseth Tinmannsvik, Stig Winge, Eivind H. Okstad, Yared Bekele, Dirk van Oosterhout

OPPDRAGSGIVER

Nye Veier

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Lars Bjørgård

PROSJEKTNUMMER

102027724

ANTALL SIDER

82 + 4 vedlegg

SAMMENDRAG

Nye Veier AS bygger ny firefelts motorvei mellom Ranheim og Værnes i Trøndelag.

Onsdag 4. mai 2022 gikk et jordskred over E6 øst for Stavsjøfjell-tunnelen i Malvik kommune. Skredet ble utløst i en løsmasseskråning sør for E6 i forbindelse med klargjøring av området til påhugg av nytt tvillingløp for E6. Hendelsen hadde stort skadepotensial, men ingen omkom som følge av hendelsen.

Hendelsens alvorlighetsgrad gjorde at Nye Veier besluttet å gjennomføre en ekstern, uavhengig gransking av hendelsen. Formålet med granskningen har vært å klarlegge hendelsesforløpet, og avdekke direkte og bakenforliggende årsaker til hendelsen.

Hovedformålet med granskningen er læring og forbedring for å sikre at lignede hendelser ikke skal skje igjen. Denne rapporten dokumenterer granskingsgruppens arbeid, og gir konklusjoner og anbefalinger til ulike aktører.

ANSVARLIG

Hanne Margrethe Lund Kvitsand

SIGNATUR


Hanne Kvitsand (31. jan. 2023 12:56 GMT+1)

KONTROLLERT AV

Eivind Grøv

SIGNATUR



GODKJENT AV

Vibeke Nossum

SIGNATUR



RAPPORT NR.

2023:00142

ISBN

978-82-14-07950-0

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2023-01-31	Rapport til oppdragsgiver

Forord

SINTEF AS har vært engasjert av Nye Veier for å gjennomføre en uavhengig gransking av jordskred fra et anleggsområde øst for Stavsjøfjelltunnelen i Malvik kommune, 4. mai 2022. Formålet med granskingen har vært å klarlegge hendelsesforløpet, undersøke årsakene til at skredet oppsto, og foreslå anbefalinger for å redusere faren for lignende hendelser i fremtiden.

Granskingen er gjennomført i tidsrommet 1. juni 2022 til 31. januar 2023, og er utført av en tverrfaglig granskingsgruppe med personell fra SINTEF AS. En rekke aktører og personer har bidratt med informasjon om hendelsen og om beslutninger og tiltak som er utført relatert til anleggsarbeidet. Vi vil rette en stor takk til alle som har latt seg intervjuet og til de som har bidratt med å fremskaffe dokumenter og annen informasjon.

Trondheim, 31. januar 2023

Hanne Margrethe Lund Kvitsand
Prosjektleder

Stein Olav Christensen
Granskingsleder

Sammendrag

Om skredhendelsen ved Stavsjøfjelltunnelen

Onsdag 4. mai 2022 kl. 13:04 gikk et jordskred over E6 øst for Stavsjøfjelltunnelen i Malvik kommune. Skredet ble fanget opp på Veitrafikksentralens overvåkningskamera i Stavsjøfjelltunnelen. All trafikk på E6 ble stanset umiddelbart, og omkjøring ble dirigert via fylkesvei 950.

Det var normal trafikk på E6 da skredet gikk. Ett kjøretøy på E6 ble truffet av skredmassene, men ingen personer i kjøretøyet ble fysisk skadet. Totalt fem personer var til stede i anleggsområdet på skredtidspunktet. En anleggsbil med en person i bilen ble tatt av skredet. Vedkommende ble reddet ut av nødetatene kl. 14:43, kjørt til sykehus og innlagt, og utskrevet påfølgende dag. Beboere i 96 husstander nord for E6 ble evakuert. Disse fikk tillatelse til å flytte hjem igjen samme ettermiddag, etter at geologer og geoteknikere hadde vurdert at det var lav sannsynlighet for nye skred som kunne påvirke området nord for E6. Skredet førte til at E6 ble stengt i seks dager, og gjenåpnet mandag 9. mai kl. ca. kl. 20.

Skredet oppsto i en løsmasseskråning i et anleggsområde sør for E6, der det våren 2022 pågikk anleggsarbeid for å ta ut løsmasser og klargjøre området til påhugg av nytt tvillingløp for E6. Vegetasjonen i området var blitt fjernet høsten i forveien, og det var etablert en midlertidig anleggsvei opp gjennom påhuggsområdet for å kunne ta ut løsmasser fra topp mot bunn av skråningen. Samtidig pågikk rensk av en fjellskjæring i sør. Dette medførte at gravearbeidet ble igangsatt sentralt i skråningen istedenfor fra toppen. Da skredet gikk onsdag 4. mai pågikk arbeid med å grave ut masser fra øverst i skråningen, i området fra turstien og i retning fjellskrenten i sør.

Skredet 4. mai var et jordskred med vannholdige skredmasser av silt, sand, pukk og stein, og innslag av middels sensitiv leire. Skredet ble utløst som et rotasjonsskred med innsynkning av skråningstopp og heving i bunnen av skredgropa. Skjærflata gikk ned i øvre deler av leira, med løsneområde i overgangen mellom løsmasseskråningen og turstien i bakkant av skråningen. Totalt 6 000 m³ løsmasser løst i skredet, hvorav ca. 10 % (600 m³) havnet på veibanen til E6.

Forut for skredet 4. mai var det to mindre skredhendelser i anleggsområdet; et grunt skred (utglidning) 15. april med anslagsvis 15-20 m³ silt, og et noe større skred 20. april med ca. 200-250 m³ med sand og silt. Etter disse skredhendelsene ble det besluttet å øke høyden på anleggsveien som lå langs E6, ferdigstille en avskjærende drengroft øverst i skråningen og å senke terrenget i toppen av skråningen.

SINTEF konkluderer med at skredet var en systemulykke, hvor en kombinasjon av flere direkte og bakenforliggende faktorer medvirket til skred.

Direkte årsaker

Løsmasseskråningen hadde lav stabilitet før anleggsarbeidet ble startet opp høsten 2021, på grunn av bratt skråningsvinkel med lagdelte, vannmettede løsmasser. Stabiliteten ble redusert utover sen vinteren 2022 på grunn av gradvis økende vannmetning i løsmassene og gravearbeid i skråningen.

Forhold som utløste skred:

- Skred 1 fredag 15. april er definert som en grunn utglidning, og ble utløst på grunn av teleløsning og påført last fra masser i anleggsveien langs fjellskrenten sør i anleggsområdet.

- Skred 2 onsdag 20. april ble utløst på grunn av økt teleløsning, som ga økt permeabilitet og vanntilsig i de finkornige massene; økt vanntilførsel fra snøsmelting og regn, som ga høyere grunnvannstand i andre halvdel av april; og påført last fra masser i anleggsveien.
- Skred 3 onsdag 4. mai ble utløst på grunn av ytterligere vanntilførsel fra snøsmelting og regn med dertil høyere grunnvannstand, og påført last fra gravemaskinen og fra fyllmassene som ble gravd ut og mellomlagret øverst i skråningen.

Forhold som ikke utløste skredet 4. mai:

- Sprengning i nytt tvillingløp.
- Graving i foten av løsmasseskråningen. Denne gravingen reduserte stabiliteten globalt i skråningen, men skred ble ikke utløst fordi leira hadde lokalt høyere skjærfasthet.
- Det er ikke observert noen form for naturlig erosjon i løsmasseskråningen.
- Det var ikke registrert kvikkleire i løsmasseskråningen.

Bakenforliggende årsaker til skredet

De direkte årsakene til skredet er knyttet til bakenforliggende, mer systemiske årsaker som oppsummeres i det følgende.

Risikostyring:

- Mangler ved farekartlegging forut for anleggsarbeidet medførte at skredfaren ikke var kjent før anleggsarbeidet ble igangsatt. Dette medvirket videre til at risikovurdering, planer og tiltak også var mangelfulle og ikke tilpasset de faktiske forholdene.
- Skredene 15. og 20. april indikerte at grunnen var ustabil, og at det derfor burde vært laget en risikovurdering etter de to skredene. Skråningsstabiliteten ble ikke tilstrekkelig vurdert før videre anleggsarbeid i området ble gjenopptatt.
- Det ble satt inn risikoreduserende tiltak i etterkant av skredene 15. og 20. april, men tiltakene var ikke basert på en systematisk risikovurdering og var ikke tilstrekkelige for å forhindre skredet 4. mai.
- Byggherren har i henhold til byggherreforskriften ansvar for å sikre, koordinere og følge opp at hensynet til sikkerhet, helse, og arbeidsmiljø blir ivaretatt, men fanget ikke opp manglene i stabilitetsberegninger, risikovurderinger, planer og tiltak. SINTEF vurderer at en mer aktiv oppfølging og koordinering av prosjektering og utførelse fra byggherren kunne avdekket manglene i risikostyringen og dermed redusert sannsynligheten for skredet.

Geologisk og geoteknisk kompetanse og ressurser:

- Totalentreprenøren fikk utført stabilitetsanalyser for en midlertidig anleggsvei i påhuggsområdet. Beregnet sikkerhetsfaktoren i disse analysene var for høy, fordi grunnvannsstanden i beregningsprofilene ble lagt for lavt. Dette kan tyde på mangelfull forståelse av lokale hydrogeologiske forhold og manglende kunnskap om hvordan grunnvannstand i leire skal vurderes.
- Notatet med stabilitetsanalysene ble ikke varslet i PIMS (Process Information Management Systems), og ble dermed ikke underlagt utvidet, uavhengig kontroll. Øverste del av anleggsveien var prosjektert i portalområdet, og skulle ha vært klassifisert i konsekvensklasse 3. Dette ville ha ført til at notatet hadde blitt forelagt utvidet kontroll.

- Det var trolig ikke mangel på tilgjengelige ressurser for å vurdere stabiliteten av anleggsområdet i etterkant av de to første skredene, men ressursene kunne ha vært utnyttet i større grad.
- Bedre informasjonsoverføring om skred 2 kunne ha ført til at en ny vurdering av stabilitet for anleggsområdet hadde blitt utført før videre anleggsarbeid ble gjenopptatt.

Rapportering og oppfølging av uønskede hendelser:

- De to skredene 15. og 20 april ble begge rapportert som RUH-er (Rapport om uønsket hendelse), men det er ulike versjoner av hvordan, og i hvilket omfang, byggherre ble varslet om disse skredene. Dersom kommunikasjonen rundt skredhendelsene 15. og 20. april hadde vært bedre, kunne byggherre ha hatt mulighet til tettere oppfølging av risikostyringen.
- Rapportering, varsling og oppfølging av uønskede hendelser har vært mangelfull, noe som gjenspeiler svakheter i systemet for rapportering og varsling.
- Det er flere eksempler på at involverte unnlater å rapportere uønskede hendelser fordi de frykter konsekvensene, noe som viser svakheter ved rapporteringskulturen.

Kommunikasjon og samhandling:

- Det er mange eksempler på et godt samarbeidsklima mellom byggherre og entreprenør på operativt og fag-til-fag nivå.
- Noen utfordringer med kommunikasjon og samhandling kan tilskrives språk og kultur.
- Byggherre og totalentreprenør har ulik oppfattelse av ansvar, noe som er krevende for kommunikasjon og samhandling. Begge parter peker på en "kontraktuell tilnærming" for å løse ad hoc problemer, dvs. at det tas bilder og sendes brev/e-post i stedet for å avklare forhold direkte på telefon eller i en prat på anleggsplassen.
- Generelt sett er det svakheter i kommunikasjon og samhandling mellom byggherre og entreprenør, og dette kan ha medvirket til skredet 4. mai 2022.

Byggherrens styring, oppfølging og kontroll:

- Noen prosjekter krever tettere oppfølging fra byggherre enn andre prosjekter. Sett i lys av at prosjektet har hatt relativt store anleggsmessige og organisatoriske utfordringer, mener SINTEF at byggherreorganisasjonen burde ha vært bedre tilpasset utfordringene i prosjektet.
- SINTEF sin vurdering er at en mer aktiv oppfølging og kontroll av prosjektering og utførelse fra byggherren ville redusert sannsynligheten for skredet 4. mai 2022.

Anbefalinger

Nedenfor følger granskingsgruppens anbefalinger til relevante aktører. Anbefalingene er ikke angitt i prioritert rekkefølge. Anbefalingene gir en oversikt over forslag til forbedringsområder, og er ment som utgangspunkt for utforming av konkrete tiltak tilpasset rammebetingelsene i det enkelte prosjekt.

Byggherre

- Gjennomføre revisjon av sikkerhetsstyringssystemet i dette prosjektet og andre prosjekter for å sikre at de sentrale elementene i sikkerhetsstyring er på plass.
- Sørge for fleksibilitet til å tilpasse prosjektorganisasjonen sin kapasitet og kompetanse til å følge opp de spesifikke risikoforhold, og anleggsmessige og organisatoriske utfordringer i hvert enkelt prosjekt.
- Sikre at farekartlegginger, risikovurderinger, tiltak og planer (risikostyring i prosjekter) gjennomføres med god kvalitet og er i henhold til lover, forskrifter og standarder.
- Sørge for en tettere oppfølging av prosjektspesifikke risikoforhold omtalt i SHA-planen, og at SHA-planen til enhver tid er oppdatert.
- Sikre at det eksisterer et godt system for avviksrapportering og læring, herunder registrering og oppfølging av rapporter om uønskede hendelser (RUH), og tydelige rutiner for hva som skal registreres som RUH, og hva som skal varsles direkte til prosjektledelsen hos byggherre.
- Sørge for god forventningsavklaring med entreprenør, med mål om å få en omforent forståelse av ansvarsfordeling, dialog og samhandling i prosjekter.

Utførende (totalentreprenør)

- Gjennomføre revisjon av sikkerhetsstyringssystemet i prosjektet og andre prosjekter for å sikre at sentrale elementer i sikkerhetsstyring er på plass.
- Sørge for at det gjennomføres farekartlegginger, risikovurderinger, tiltak og planer (risikostyring) med god kvalitet og i henhold til lover, forskrifter og standarder.
- Tydeliggjøre ansvar og roller til prosjekterende og rådgivere involvert i arbeidet, både når det gjelder rådgiving/prosjektering av ferdig anlegg og i utførelsesfasen.
- Sørge for å ha et godt system for avviksrapportering og læring, herunder registrering og oppfølging av rapporter om uønskede hendelser (RUH), og tydelige rutiner for hva som skal registreres som RUH og hva som skal varsles direkte til prosjektledelsen hos byggherren.
- Utvikle en *rettferdighetskultur* ("just culture") når det gjelder rapportering av uønskede hendelser. Dette innebærer en aksept for at det er menneskelig å gjøre feil, og at rapportering av feil og uønskede hendelser gir et godt utgangspunkt for læring og forbedring på systemnivå.
- Utnytte ressursene og kompetansen som finnes i prosjektorganisasjonen:
 - Forbedre dialogen med, og utnyttelse av kompetansen til, underentreprenører (bl.a. om lokale forhold, geologi og løsmasser).
 - Trekke inn innleide geotekniske ressurser mer aktivt i befaringer og oppfølging av grunnforhold knyttet til løsmassestabilitet i utførelsesfasen.
 - Bedre samhandling mellom geoteknikere som jobber med detaljprosjektering og oppfølging av utførelse.

- Sikre at fagressursene som benyttes har tilstrekkelig kunnskap om lokale hydrogeologiske forhold og grunnleggende materialforståelse av leire.
- Vurdere skråningsstabilitet for alle faser i gjennomføring av anleggsarbeidet, der påvirkninger fra naturgitte forhold må inngå i vurderingene.
- Lage graveplaner som er stabilitetsmessig vurdert, der det tydelig fremgår anbefalt rekkefølge for gjennomføring av gravearbeidet.
- Sikre at gravearbeider gjennomføres i henhold til plan.

Bransjen

- Bransjen bør ta hensyn til variasjoner og raske endringer i vannmetning og grunnvannstand ved vurdering av skråningsstabilitet. Endringer i vannmetning og grunnvannstand kan skyldes naturgitte hydrologiske forhold som årstidsvariasjoner og ekstremnedbør, eller endring i avrenningsmønster som følge av anleggsarbeid i både utførelsesfase og driftsfase av et veiprojekt.
- Sørg for at det gjennomføres farekartlegginger og risikovurderinger med hensyn på skråningsstabilitet, skred- og naturfare ved midlertidige anlegg i utførelsesfasen. I risikovurderingen for midlertidige anlegg i utførelsesfasen bør risiko også for 3. part inngå i vurderingene.
- SINTEF anbefaler at vurderinger av skråningsstabilitet i utførelsesfasen dokumenteres skriftlig og fremlegges til byggherre og til uavhengig kontroll.
- Rask tilførsel av vann er den vanligste årsaken til at løsmasseskred utløses. Som en følge av et stadig varmere klima med stedvis mer ekstremnedbør, vil sannsynligheten for skred kunne øke lokalt. SINTEF anbefaler at effekten av klimaendringer inkluderes ved vurdering av skråningsstabilitet og skredfare i veiprojekter og andre utbyggingsprosjekter.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1 Innledning	11
1.1 Bakgrunn	11
1.2 Mandat.....	11
1.3 Granskingsgruppens sammensetning	12
1.4 Retningslinjer for arbeidet	12
1.5 Metode og tilnærming	13
1.6 Rapportens struktur	13
Del I: Faktiske opplysninger	14
2 Hendelsesforløp	15
2.1 Anleggsarbeid vinteren 2021/2022	15
2.2 To rapporterte skred i april 2022	16
2.3 Skredet 4. mai 2022	19
3 Beskrivelse av skredet 4. mai	22
3.1 Størrelse og type	22
3.2 Skredets skadeomfang	24
4 Om E6 Ranheim-Værnes og skredområdet	25
4.1 Generelt om veistrekningen E6 Ranheim-Værnes.....	25
4.2 Prosjektorganisasjon E6RV.....	25
4.2.1 Aktører og roller av relevans for skredet.....	25
4.2.2 Byggherre.....	27
4.3 Stavsjøfjelltunnelen utløp øst - skredområdet	28
4.3.1 Prosjektet trasé Stavsjøfjelltunnelen øst	28
4.3.2 Geotekniske undersøkelser i skredområdet.....	29
4.3.3 Geologi og grunnforhold i skredområdet	30
4.3.4 Arbeid i anleggsområdet 1988-1990	32
4.3.5 Hydrologiske data våren 2022	35
4.4 Sikkerhetsprinsipp for geoteknisk prosjektering E6RV	38
4.5 Farekartlegginger, risikovurderinger og ROS-analyser	40
4.5.1 Krav om kartlegging av risikoforhold i bygge- og anleggsprosjekter.....	40
4.5.2 Farekartlegging og risikoanalyser utført i E6RV.....	41
Del II: Analyse av direkte og bakenforliggende årsaker til skredet	43
5 Direkte årsaker til skredet	44
5.1 Bakgrunn - kort om jordskred	44

5.2	Naturgitte forhold	45
5.3	Skråningsstabilitet og stabilitetsberegninger	46
5.3.1	Generelt om stabilitetsanalyser som dokumentasjon på sikker byggegrunn	47
5.3.2	Hovedresultater fra SINTEFs stabilitetsanalyser	48
5.3.3	Prosjektering og stabilitetsanalyse av midlertidig anleggsvei	50
5.3.4	Oppsummering – hva forteller stabilitetsanalysene?	53
5.4	Skredårsak – utløsende mekanismer	54
5.5	Tekniske og fysiske barrierer	57
6	Bakenforliggende årsaker til skredet	60
6.1	Risikostyring	60
6.1.1	Innledning	60
6.1.2	Kartlegging av fare for skred.....	62
6.1.3	Risikovurdering	63
6.1.4	Planer og tiltak.....	64
6.1.5	Byggherrens rolle i risikostyring	65
6.1.6	Oppsummering	65
6.2	Geologisk og geoteknisk kompetanse og ressurser	65
6.3	Rapportering og oppfølging av uønskede hendelser	67
6.4	Kommunikasjon og samhandling	68
6.5	Byggherrens styring, oppfølging og kontroll.....	70
	Del III: Konklusjoner og anbefalinger.....	73
7	Konklusjoner	74
7.1	Skredet 4. mai	74
7.2	Direkte årsaker	74
7.3	Bakenforliggende årsaker	75
8	Anbefalinger	77
9	Referanser.....	79

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg 1:	Granskingsmandat (Oppdragsgivers oppdragsbeskrivelse)
Vedlegg 2:	Forkortelser og sentrale begreper
Vedlegg 3:	SINTEFs stabilitetsberegninger
Vedlegg 4:	STEP-diagram

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Nye Veier AS bygger firefelts motorvei mellom Ranheim og Værnes i Trøndelag. Byggestart var i 2020, og strekningen er planlagt ferdig i 2025. Nye Veier er byggherre for veiprojektet, med ACCIONA Construction SA som totalentreprenør og innleide underleverandører på entreprenør- og rådgiversiden.

Onsdag 4. mai 2022 gikk et jordskred over E6 ved Stavsjøfjelltunnelen utløp øst, sør for tettstedet Hommelvik i Malvik kommune (Figur 1-1). Skredet ble utløst i en løsmasseskråning sør for E6 i forbindelse med klargjøring av området til påhugg av et tvillingløp for E6. Hendelsen hadde stort skadepotensial, men ingen omkom som følge av hendelsen.



Figur 1-1. Prinsippskisse av ny E6 Ranheim – Værnes. Rød sirkel angir skredets lokasjon [1].

Hendelsens alvorlighetsgrad medførte at byggherre Nye Veier AS besluttet at å gjennomføre en ekstern, uavhengig gransking av hendelsen[2]. Hensikten med granskningen har vært å klarlegge hendelsesforløpet, og avdekke direkte og bakenforliggende årsaker til hendelsen. Formålet med granskningen er læring og forbedring for å sikre at lignende hendelser ikke skal skje igjen.

SINTEF AS ble tildelt granskingsoppdraget 31. mai 2022. Foreliggende rapport oppsummerer granskingsgruppens hendelses- og årsaksvurderinger, samt granskingsgruppens anbefalinger for å bidra til å redusere faren for lignende hendelser i fremtiden.

1.2 Mandat

Mandatet for granskningen av skredhendelsen ved Stavsjøfjelltunnelen er gitt i sin helhet i Vedlegg 1, Oppdragsbeskrivelse. Hovedhensikten med granskningen har vært å

- klarlegge hendelsesforløpet
- vurdere planlagte og utførte sikkerhetsbarrierer for arbeidet

- vurdere og beskrive direkte og bakenforliggende årsaker til at skredet oppsto og omfanget skredet fikk
- identifisere læringspunkter og tilrådninger for å redusere faren for gjentakelse av lignende hendelser

Granskingen omfatter ikke vurdering av redningsinnsatsen, eller normaliseringsarbeidet for å gjenåpne veistrekningen og gjenoppta anleggsarbeidet. Granskingen omfatter heller ikke vurderinger av økonomiske forhold og konsekvenser, eller rent juridiske forhold relatert til straffe- eller erstatningsansvar.

1.3 Granskingsgruppens sammensetning

Granskingen er utført av en tverrfaglig granskingsgruppe med ekspertise innen geologi, hydrogeologi og geoteknikk, organisasjon, sikkerhetsledelse og sikkerhetskultur, ulykkesgransking og læring etter hendelser:

- Hanne Margrethe Lund Kvitsand (prosjektleder), forsker/ph.d., SINTEF Community
- Stein Olav Christensen (granskingsleder), seniorforsker, SINTEF Community
- Ranveig Kviseth Tinmannsvik, seniorforsker/ph.d., SINTEF Digital
- Stig Winge, seniorforsker/ph.d., SINTEF Digital
- Yared Bekele, forsker/ph.d., SINTEF Community
- Eivind Okstad, seniorforsker/ph.d., SINTEF Digital
- Dirk van Oosterhout, forsker/master, SINTEF Community

Eivind Grøv, sjef forsker ved SINTEF Community, har vært kvalitetssikrer i oppdraget.

1.4 Retningslinjer for arbeidet

Arbeidet er utført i henhold til krav gitt i oppdragsgivers kravspesifikasjon. Alle medlemmene i granskingsgruppen er habilitetsvurdert opp mot involverte aktører i veiprojektet, og bekreftet habile forut for utførelse av undersøkelsen. Granskingsgruppens medlemmer har vært underlagt taushetsplikt under oppdraget.

Alle som har ønsket det, har hatt anledning til å ta direkte kontakt med granskingsgruppens medlemmer for å dele informasjon som de mener kan være relevant for granskingen. Alle informanter er anonymisert, og hverken oppdragsgiver eller andre har hatt tilgang til informasjon om identiteten til disse.

Alle som har blitt intervjuet har hatt mulighet til å kommentere på faktaopplysninger i rapporten. Informantene har ikke hatt mulighet til å påvirke hvilke temaer som er omhandlet i rapporten, eller hvordan disse temaene er vurdert.

Prosjektgjennomføring og kommunikasjon med oppdragsgiver

Arbeidet ble innledet med et internt oppstartsmøte for granskingsgruppen for å sikre en omforent forståelse av mandatet og planlegge gjennomføringen av oppdraget. Oppstartsmøte mellom representanter fra oppdragsgiver og SINTEF ble avholdt 7. juni 2022, der bakgrunn for granskingen, oppdragsgivers forventninger til granskingsarbeidet, presiseringer av mandatet og kommunikasjonslinjene mellom oppdragsgiver og granskingsgruppen ble avklart. Granskingsgruppen utførte en befaring av anleggsområdet 10. juni 2022.

Granskingsgruppen har hatt jevnlige interne møter og har utarbeidet statusrapporter til oppdragsgiver med informasjon om fremdrift underveis i arbeidet. Kommunikasjon mellom granskingsgruppen og oppdragsgiver har foregått per e-post mellom SINTEFs prosjektleder og representant fra oppdragsgiver.

1.5 Metode og tilnærming

SINTEFs vurderinger er basert på følgende informasjonskilder:

- befaring av anleggsområdet
- skriftlig dokumentasjon (rapporter, notater, møtoreferater, metodebeskrivelse) og bilder produsert av aktører knyttet til gjennomføring av veiprojektet
- intervjuer med aktører knyttet til hendelsen; byggherre, totalentreprenør, underentreprenør, rådgiver prosjektering og uavhengig kontroll
- hydrologiske data
- meteorologiske data
- relevante lover og forskrifter

Formålet med granskingen er å svare på følgende spørsmål:

- i) hva har skjedd?
- ii) hvorfor har det skjedd?
- iii) hvordan unngå at lignende hendelser skjer igjen?

Granskingsarbeidet er gjennomført som en prosess med tre overlappende hovedfaser: i) datainnsamling, ii) analyse, og iii) utarbeidelse av anbefalinger [3], som til sammen skal bidra til å besvare de tre spørsmålene nevnt foran. Innhentet informasjon er analysert iht. SINTEFs forskningsbaserte rammeverk for gransking av uønskede hendelse [4], som kombinerer bruk av et sekvensielt tids- og hendelsesdiagram (STEP-metoden; Sequentially Timed Events Plotting) [5] for etablering av hendelsesforløpet og Pentagon-modellen [6] for analyse av bakenforliggende forhold i et MTO-perspektiv (menneske-teknologi-organisasjon). Direkte og medvirkende årsaker er analysert med utgangspunkt i informasjon om fysiske og tekniske forhold knyttet til planlegging, prosjektering og utføring av arbeid i det aktuelle anleggsområdet.

1.6 Rapportens struktur

Rapporten er bygget opp i tre hoveddeler, som gjenspeiler granskingens hovedformål:

- *Del I Faktiske opplysninger* gir i kap. 2 en beskrivelse av hendelsesforløpet fra starten av anleggsarbeidene vinteren 2021/2022 og fram til skredet skjedde onsdag 4. mai 2022. I kap. 3. beskrives skredet og dets omfang, mens kap. 4 gir en introduksjon til veiprojektet E6 Ranheim-Værnes og fysiske og tekniske forhold i anleggsområdet der skredet gikk.
- *Del II Vurderinger og analyser* presenterer granskingsgruppens analyse og vurderinger av direkte årsaker til hendelsen i kap. 5, mens bakenforliggende årsaker omtales i kap. 6.
- *Del III Konklusjoner og anbefalinger* oppsummerer i kap. 7 granskingsgruppens konklusjoner. Anbefalinger for å bidra til å redusere faren for lignende hendelser i fremtiden er oppsummert i kap. 8.

Sentrale forkortelser og begreper som er benyttet i rapporten er oppsummert i Vedlegg 2.

Del I: Faktiske opplysninger

2 Hendelsesforløp

For detaljert fremstilling av tidslinjen ved hendelsesforløpet henvises til STEP-diagrammene i Vedlegg 4.

2.1 Anleggsarbeid vinteren 2021/2022

I løsmasseskråningen sør for Stavsjøfjelltunnelen ved utløp øst, ble det vinteren 2021/2022 utført innledende anleggsarbeid for å ta ut løsmasser fra skråningen og klargjøre området til påhugg av tvillingløp for E6.

Vegetasjonen i skråningen ble fjernet høsten 2021, og utover senvinteren og fram til 3. mai 2022 pågikk rensk av fjellskrenten i sør (Figur 2-1). Gravearbeidet ble startet opp sentralt i skråningen i slutten av mars, og avsluttet 8. april. Dette arbeidet var planlagt gjenopptatt tirsdag 19. april etter påske.

I mars 2022 ble det anlagt en anleggsvei under fjellskrenten sør i anleggsområdet. Anleggsvei langs eksisterende E6 (nord i anleggsområdet) var under utførelse i april 2022 (Figur 2-1). I samme periode ble det etablert en grøft med rørledning for å lede bort vann som drenerte ned mot løsmasseskråningen fra høyereliggende områder, og inn i et drenerør som var anlagt langs E6 med utløp østover i retning skråningen mot Homla (Figur 2-1).

Arbeidet med å grave ut løsmasser fra området var planlagt utført ved at løsmassene skulle graves ut fra topp til bunn, med en maksimal terrenghelning på 1:3. Ettersom det pågikk arbeid med rensk i fjellskrenten i sør, besluttet totalentreprenøren å starte gravingen sentralt i skråningen, rett ovenfor krysningspunktet mellom de to anleggsveiene (Figur 2-1). Hensikten med denne gravingen var å registrere dybde til fjell. Det ble etablert et drenerør med pumpe for å lede vann ut fra gravegropa.



Figur 2-1. Dronebilde av anleggsområdet tatt 7. april 2022, med gravearbeid sentralt i området og drenergrøft i overkant av skråningen (modifisert etter [7]). Drenergrøften ble etablert for å lede vann nordover og inn i rør langs E6. Anleggsveien svinger seg inn mot fjellskrenten og følger denne.

2.2 To rapporterte skred i april 2022

Mindre skred fredag 15. april 2022

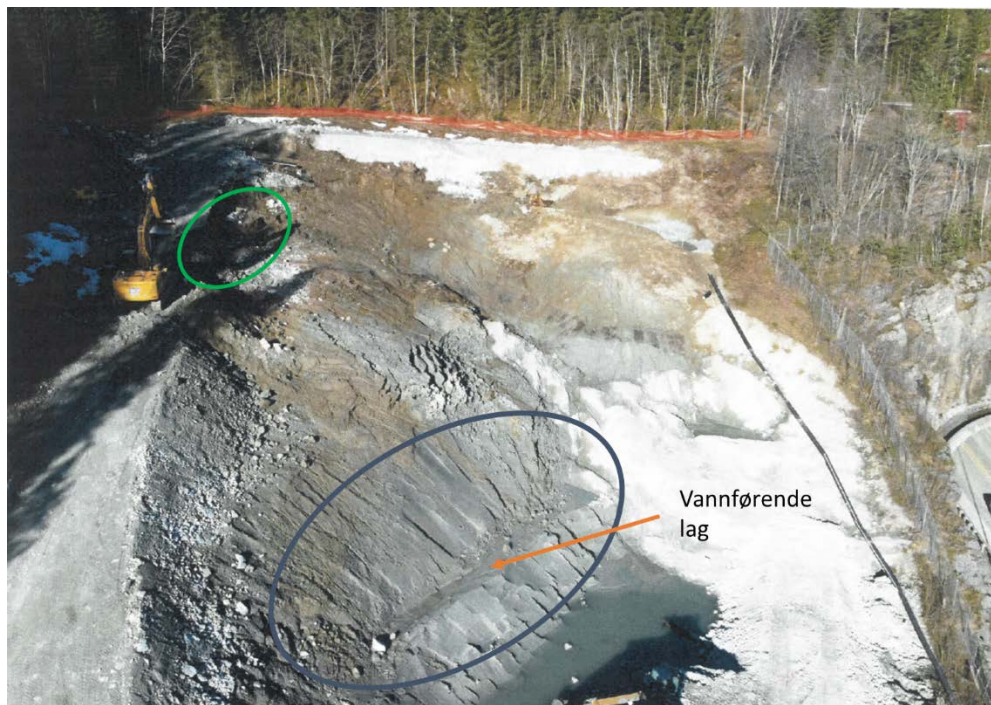
Ovenfor løsmasseskråningen lå det en tursti i overgangen mellom granskogen og skråningen (ovenfor oransje gjerde i Figur 2-2). Anleggsveien som ble etablert sør i skråningen i mars 2022, stanset like nedenfor denne turstien.

Langfredag 15. april observerte en turgåer et grunt skred (utglidning), i øverste del av anleggsveien langs fjellskrenten i sør (Figur 2-2). Turgåeren varslet en bekjent hos underentreprenør graving, som varslet videre til totalentreprenør. Både totalentreprenør og underentreprenør graving dro deretter ut på befaring til anleggsområdet.

Halve bredden i øverste del av anleggsveien hadde rast ut (omtrent 15-20 m³ masse; SINTEFs anslag). I skråningen nedenfor anleggsveien ble det observert langsgående sprekker og riss, samt et tverrgående vannførende gruslag nedenfor disse sprekken (Figur 2-2 og Figur 2-3).

Etter befaringen besluttet totalentreprenøren å iverksette tre tiltak for å ivareta stabiliteten og for å fange opp masser ved eventuelle nye skred: 1) etablere en drengroft i øvre deler av skråningen for avskjæring av vann inn til området, 2) grave bort masser fra skråningstoppen for å redusere skråningshelningen i området, og 3) lage en steinfylling på fjell langs eksisterende E6 for å unngå at masser ved eventuelle nye skred skulle nå E6.

Underentreprenør graving utførte tiltak 3 (steinfylling langs E6) påfølgende dag (påskeaften, lørdag 16. april) ved å legge sprengstein oppå anleggsveien mot dagens E6 i nord. De øvrige to tiltakene skulle iverksettes etter påskeferien.



Figur 2-2. Anleggsmaskin i arbeid 20. april 2022 i forbindelse med utbedring av anleggsvei etter mindre skred 15. april (modifisert dronebilde). Området der masser raste ut fra anleggsveien er markert med grønn sirkel. Området med langsgående sprekker og riss er markert med blå sirkel. Et vannførende lag av grus som ligger under leire og over morene er markert med oransje pil.



Figur 2-3. Sprekker i skråning nedenfor anleggsveien observert ved befaring 15. april (venstre) (modifisert etter [7]). Området der masser raste ut fra anleggsveien er markert med grønn sirkel til venstre i figuren. Området med sprekker er markert med rødt rektangel i bilde tatt 7. april (høyre) (modifisert etter [7]).

Skred onsdag 20. april 2022

På formiddagen onsdag 20. april var underentreprenør graving i gang med å gjenoppbygge anleggsveien i sør, da det gikk et nytt skred fra samme område som tidligere (øverst i anleggsveien). Gravemaskinen sank flere meter ned i terrenget, og anslagsvis 200-250 m³ skredmasser (SINTEFs anslag) skled nedover skråningen og fylte delvis opp gropa i foten av skråningen (Figur 2-4 og Figur 2-5).



Figur 2-4. Skannet bilde av anleggsområdet etter skredet 20. april 2022. Rød ring viser totalentreprenørens markering av område for skredet 20. april (modifisert etter [7]). Blått rektangel viser området der det ble lagt sprengstein oppå anleggsveien for å etablere en fysisk barriere mot eventuelle nye skred.



Figur 2-5. Bilder fra skredet 20. april 2022. I venstre bilde vises skredets utbredelse [8], til høyre vises gravemaskinens sluttposisjon [7].

Gravemaskinføreren kom seg uskadd ut av maskinen, og fikk varslet sin anleggsleder om hendelsen. Totalentreprenøren ble deretter varslet av underentreprenør graving, og reiste ut til stedet. Også representere fra underentreprenør graving reiste til anleggsområdet for befaring.

Etter befaringen ble det besluttet å rydde skråningen for skredmasser, samt å videreføre tiltakene som ble bestemt etter det første skredet 15. april. Dette arbeidet ble utført i tidsrommet 20.-22. april. Skredmasser nedenfor anleggsveien ble gravd ut for å ta ut gravemaskinen via anleggsveien. Skredgropa ble fylt igjen ved å skyve ned masser fra sidene og ovenfra, og anleggsveien langs skrenten i sør ble planert ned for å etablere en skråningshelning på 1(H):3(L). En del av skredmassene havnet i den tidligere utgravde delen nederst i området (Figur 2-1). Det meste av disse massene ble gravd ut, lastet på dumper og fraktet ut av området. På grunn av vanskelig adkomst, ble det stående igjen en rygg med skredmasser i området ovenfor krysningspunktet mellom de to anleggsveiene (blå sirkel i Figur 2-6).

Høyden på anleggsveien langs E6 ble etter skredet 20. april økt med ytterligere ca. én meter ved å fylle på med sprengstein i området fra det tekniske bygget og vestover i retning bergblotning (Figur 2-4). Drensgrøften ved toppen av skråningen ble ferdigstilt.

Det ble foretatt en befaring av anleggsområdet torsdag 21. april, i forbindelse med befaringen for geoteknikk som ble gjennomført hver 14. dag. Oppryddingsarbeidet var på dette tidspunktet igangsatt. I befaringen deltok ansvarlig for utførelseskontroll (UK) og representanter fra totalentreprenør [9]. Byggherre ble orientert muntlig om skredet 21. april, samt i forbindelse med en befaring 28. april etter at oppryddingsarbeidet var ferdigstilt.

I perioden 23. april til 3. mai ble det utført rensk av fjellskrenten sør i anleggsområdet. Underentreprenør graving var ikke til stede i anleggsområdet i denne perioden.



Figur 2-6. Bilde fra anleggsområdet tatt 27. april. Løsneområdet for skredet 20. april er tegnet inn med rød sirkel. Rygg med skredmasser som ikke ble fjernet etter skredet er tegnet inn med blå sirkel. Skredmasser som havnet i utgravd område, ble fjernet 21.-22.april (modifisert bilde fra Nye Veier).

2.3 Skredet 4. mai 2022

Onsdag 4. mai kl. 09:00-9:30 utførte representanter fra totalentreprenør og underentreprenør graving en felles befaring i anleggsområdet for å avklare om gravearbeidet skulle gjenopptas, og hvordan det skulle utføres. Underentreprenør rensk hadde utført rensk av fjellskrenten fram til og med tirsdag 3. mai. Det hadde ikke foregått graving i skråningen siden fredag 22. april. Basert på visuell observasjon ble det konstatert at området ikke hadde endret seg de siste dagene, og det ble bestemt at gravearbeidet kunne gjenopptas.

Kl. 09:45 ble det utført sprengning ca. 270 meter unna, i tunnel for nytt tvillingløp. Salven var av begrenset størrelse. To personer som sto i nærheten av fjellskrenten sør i anleggsområdet merket likevel rystelser fra sprengningen.

Gravearbeidet startet opp ca. kl. 10 med graving i bakkant av løsmasseskråningen, i området fra turstien og i retning fjellskrenten i sør. Fra underentreprenør graving var to gravemaskinførere og en fører av bulldoser til stede for utføring av arbeidet. Gravingen foregikk i en gammel fylling som var plassert i dette området i forbindelse med anleggsarbeidene i slutten av 1980-tallet. Fyllingen besto av løsmasser og var plastret med stein. Oppgravde masser ble flyttet nordover med bulldoser til en annen gravemaskin som sto øverst i anleggsveien på motsatt side av skråningen, langs E6. Denne gravemaskinen lastet massen opp på dumper som fraktet massene ut av området (Figur 2-7). Turstien var på dette tidspunktet stengt for allmenn ferdsel.



Figur 2-7. Bilder tatt på formiddagen 4. mai (foto: Br. Bjerkli AS). Underentreprenør gravde ned toppen av skråningen og en bulldoser flyttet massene bortover mot annen gravemaskin, som lastet på dumpere for transport ut av området.

Gravingen pågikk fram til kl. 11:00, da arbeidstakerne tok lunsj. Arbeidet ble gjenopptatt kl. 11:30. Både formannen hos underentreprenør og totalentreprenør hadde forlatt anleggsområdet etter befaringen om morgenen. De kom tilbake til anleggsområdet henholdsvis kl. 12:00 og 12:50.

Skredet gikk kl. 13:04. Skredet tok med seg store deler av anleggsveien i sør og resten av fyllingen ved turstien inn mot fjellskrenten. Deler av skredmassene havnet over veibanen for eksisterende E6 (Figur 2-8), og strøm- og styringskabler i tunnelen ble skadet. Det var normal trafikk på E6, men ingen kjøretøy ble truffet av skredmassene. Nødetatene ble varslet av Veitrafikksentralen kl. 13:06. Byggherre ble informert om hendelsen kl. 13:08.

Gravemaskinen sør i området ble med i skredet, og falt anslagsvis seks meter ned (se forsidefoto). Doserer og den andre gravemaskinen sto på siden av skredets løsne- og utløpsområde og ble ikke med i skredmassene. Da skredet gikk, satt formannen fra underentreprenøren i anleggsbilen lengre ned i anleggsområdet, og snakket med formannen fra totalentreprenøren gjennom førervinduet. Dette var i nærheten av der de to anleggsveiene krysser hverandre. Formannen fra totalentreprenøren løp unna i retning sørøst, og unnslopp skredmassene. Formannen fra underentreprenøren forsøkte å kjøre bort fra stedet i retning øst, men bilen ble omsluttet av skredmassene. Nødetatene kom raskt til stedet, og formannen ble reddet ut fra bilen kl. 14:43.

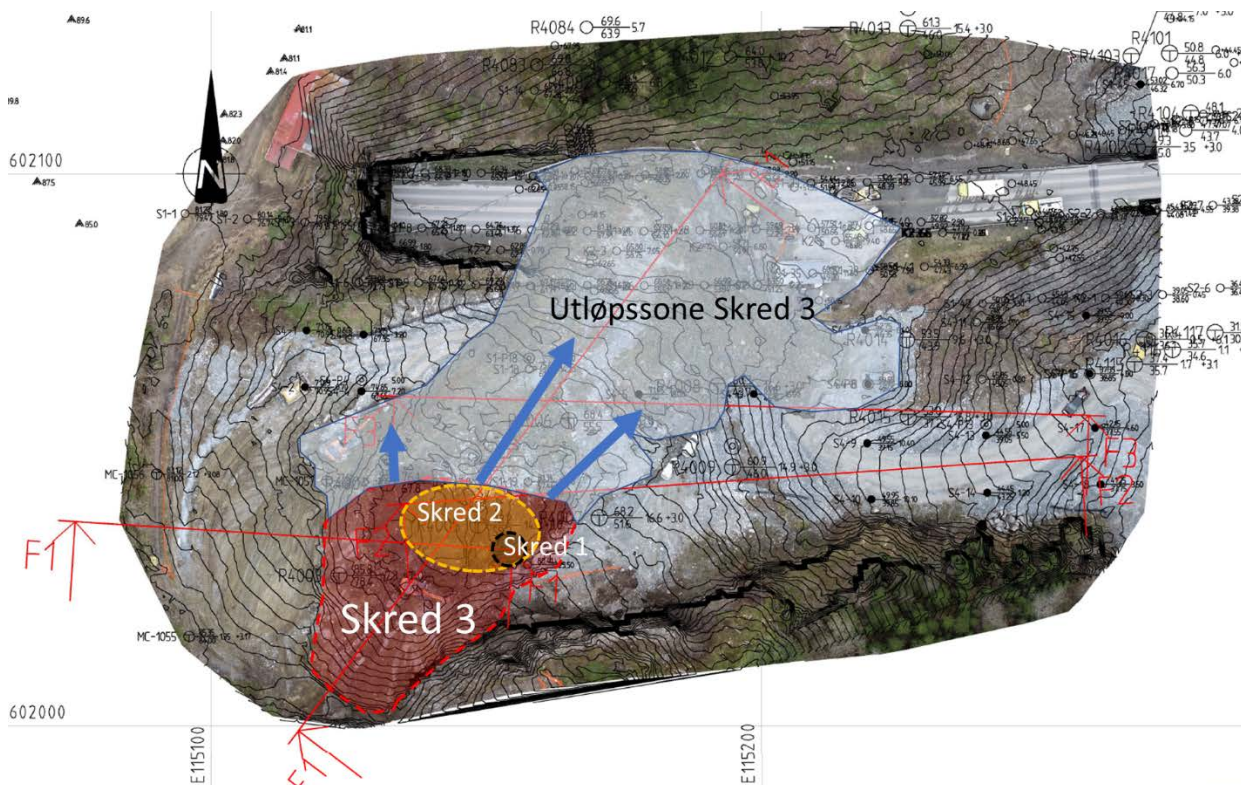


Figur 2-8. Bilde av skredet 4. mai, sett fra Hommelvik bru [10]. Skredmasser havnet over E6. Anleggsveien sør for E6 observeres under skredmassene.

3 Beskrivelse av skredet 4. mai

3.1 Størrelse og type

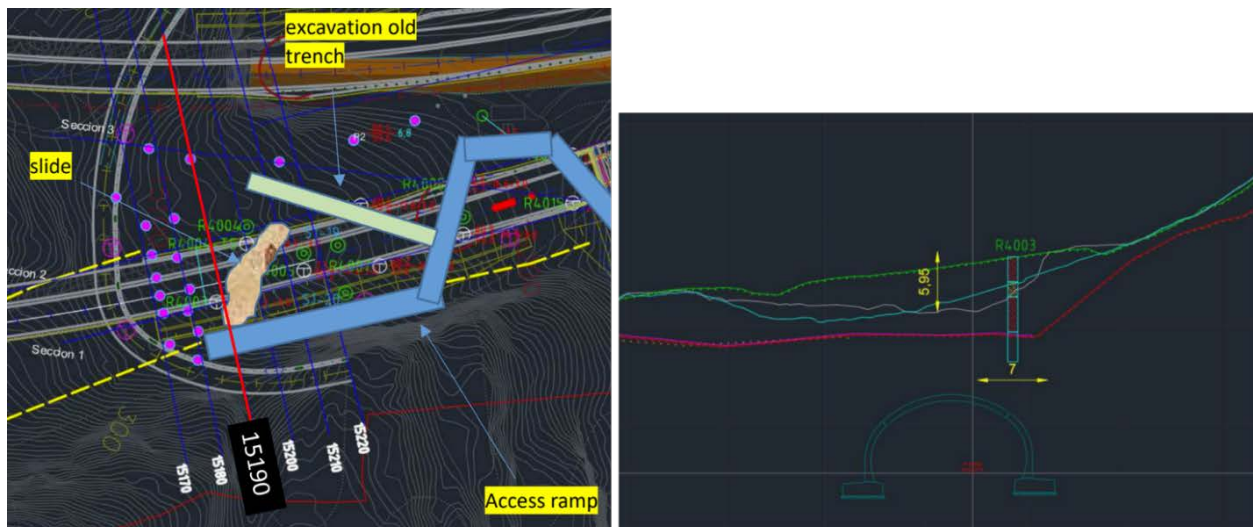
Skredet 4. mai (skred 3 i Figur 3-1) oppsto ovenfor løснеområdet ved de to mindre skredene 15. april og 20. april 2022 (hhv. skred 1 og skred 2 i Figur 3-1).



Figur 3-1. Plassering av løснеområde for skred 1 (15. april) og skred 2 (20. april), samt løsne- og utløpsområde for skred 3 (4. mai) (SINTEF AS, modifisert etter [11]).

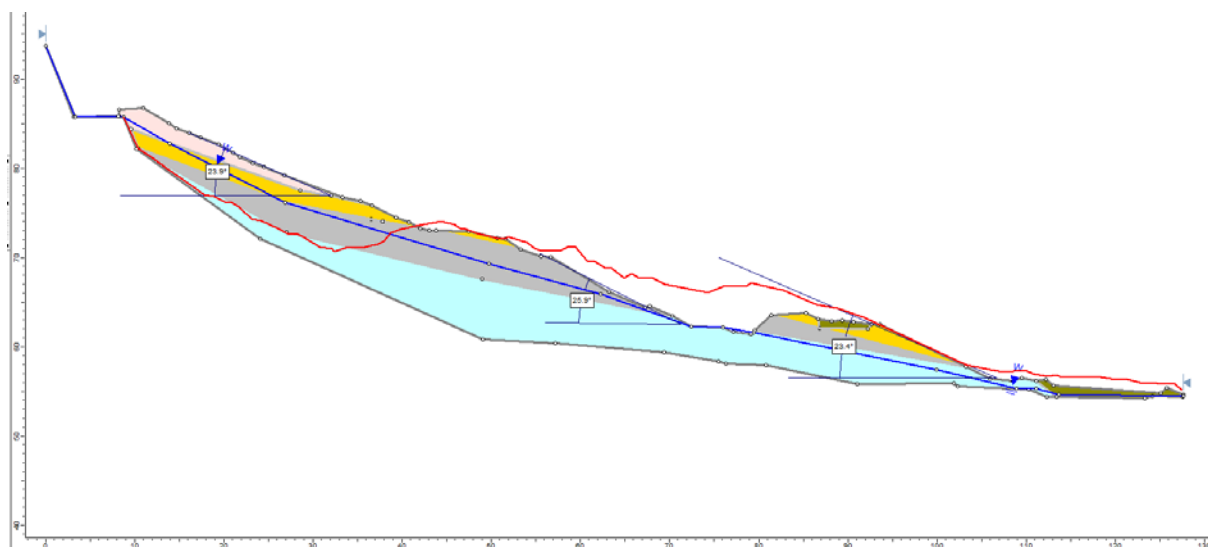
Det første skredet 15. april var grunt og klassifiseres som en grunn utglidning av anslagsvis 15-20 m³ med hovedsakelig silt.

Skredet onsdag 20. april gikk dypere i grunnen og var større i omfang. Et snitt fra profil 15190 (til høyre i Figur 3-2) viser opprinnelig terreng (grønn linje), skredgrop (grå linje) og bearbeidet terreng etter skredet (lys blå linje). Profilet viser at høyden fra anleggsveien ("access ramp") og ned til bunnen av skredgropa er ca. 6 meter. Ut fra bildematerialet og målene i profilet er det estimert at 200-250 m³ løsmasser raste ut (SINTEFs anslag).



Figur 3-2. Skisse med anleggsveier (access ramp), profilsnitt og innriss av skredet (slide) 20. april 2022 [7].

Skredet 4. mai gikk som et rotasjonsskred, med en nedsynkning av skråningstoppen og heving i bunnen av skredgrova (Figur 3-3). Løsneområdet var ved overgangen mellom turstien og fjellskrenten på ca. kote +85, med utløpsområde mot nord-øst over E6 på ca. kote +55. Tverrsnittprofil fra terrenginnmåling av skredgrova 25.04.2022 og 04.05.2022 [11] viser at skredgrova er skålformet (Figur 3-3) med lokal skjærflate som går ned i øvre del av leira (se også kap. 5.3.2).



Figur 3-3. Tverrsnittprofil av skredgrova i antatt retning for skredbane (SINTEF AS, modifisert skisse fra [11]). Rød linje: skredgrova og skredmassenes plassering etter skredet. Blå linje: Antatt plassering av grunnvannsnivå før skredhendelsen 4. mai. Lagdeling: Rosa = fyllmasse, Gul = sand, grå = silt og blå = leire.

Informasjon fra visuelle observasjoner ved befaring og fra geotekniske undersøkelser i anleggsområdet før skredet 4. mai [11], viser at skredmassene var vannholdige og besto av silt, sand, pukk og stein, med innslag av middels sensitiv leire. Skredet er klassifisert som et jordskred.

Basert på observasjoner av løsneområdets gjennomsnittsverdier for bredde (25 meter), lengde (40 meter) og dybde (6 meter) (Figur 3-1, Figur 3-3 og Figur 3-4), har SINTEF estimert at totalt 6 000 m³

løsmasser løsnet i skredet. Utløpsområdets areal er ca. 3750 m², med en gjennomsnittlig bredde på ca. 50 meter og en total lengde på 75 meter (Figur 3-1 og Figur 3-4). Noe av skredmassene ble liggende igjen i skredgrova. Anslagsvis 80-90 % av massene ble transportert ut av skredgrova, hvorav omtrent 10 % (600 m³) ble liggende på veibanen til dagens E6.



Figur 3-4. Venstre: Dronebilde av skredet (Stjørdalsnytt 6.5 2022, foto v/Karl-Marius Sneisen). Høyre side: inntegnet areal for løsne- og utløpsområde ved skredet 4. mai (SINTEF AS). Blå pil angir utløpsretning.

3.2 Skredets skadeomfang

Skredet ble fanget opp på Veitrafikksentralens overvåkningskamera i Stavsjøfjelltunnelen. All trafikk på E6 ble stanset umiddelbart, og omkjøring ble dirigert via fylkesvei 950. Det var normal trafikk på E6 da skredet gikk. Ett kjøretøy på E6 ble truffet av skredmassene, men ingen personer i kjøretøyet ble fysisk skadet.

Totalt fem personer var til stede i anleggsområdet på skredtidspunktet. En anleggsbil med en person i bilen ble tatt av skredet. Vedkommende ble reddet ut av nødetatene kl. 14:43, kjørt til sykehus og innlagt, og utskrevet påfølgende dag.

Beboere i 96 husstander nedstrøms utløpsområdet (nord for E6) ble evakuert. Disse fikk tillatelse til å flytte hjem igjen ca. kl. 16 samme ettermiddag, etter at geologer og geoteknikere hadde vurdert at det var lav sannsynlighet for nye skred som kunne påvirke området nord for E6.

Skredet førte til at E6 ved skredstedet ble stengt i seks dager, og gjenåpnet mandag 9. mai kl. ca. kl. 20.

4 Om E6 Ranheim-Værnes og skredområdet

4.1 Generelt om veistrekningen E6 Ranheim-Værnes

Veistrekningen E6 Ranheim-Værnes (heretter kalt E6RV) er 23 km, og bygges som firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t og veistandard H3. Estimert årstdøgntrafikk (ÅDT) for delstrekningen er 36 000 kjøretøy for år 2045. Dagens trafikkmengde for E6RV varierer med en ÅDT fra 9 000 til 22 000 (2018) [12]. Veibredde for vei i dagen skal være 23 meter inkludert veiskulder [13].

Veiprojektet omfatter oppføring av åtte bruer og fem toplanskryss. I tillegg skal det drives ett nytt tunnellopp parallelt med de eksisterende tunnelloppene på strekningen, der Stavsjøfjelltunnelen er det midtre av de tre nye tunnelene (Figur 1-1).

4.2 Prosjektorganisasjon E6RV

4.2.1 Aktører og roller av relevans for skredet

Kontraktsformen i E6RV er totalentreprise, med Nye Veier AS som byggherre og ACCIONA Construction SA som totalentreprenør. En oversikt over aktører av relevans for skredet 4. mai er gitt i Figur 4-1.

Rådgivningsselskapet Multiconsult AS var underleverandør for ACCIONA Construction SA innen rådgiving geoteknikk og ingeniørgeologi i reguleringsplan- og prosjekteringsfasen [13]. I utførelsesfasen (fra mai 2020) er Rambøll Norge AS og ACCIONA Engineering SA kontrahert av ACCIONA Construction SA gjennom Design Joint Venture (DJV) for detaljprosjektering av permanente konstruksjoner og installasjoner i veiprojektet [14]. ACCIONA Engineering SA prosjekterer tunneler, tunnelportaler¹ og brukonstruksjoner, mens Rambøll AS prosjekterer dagsonene. For dagsonene utfører geoteknikerne i DJV geoteknisk prosjektering (inkl. stabilitetsvurderinger) for ny veitrasé [15]. Ingeiørgeologene i DJV utfører detaljprosjektering for arbeid knyttet til fjell i dagsonene mellom Ranheim og Værnes, samt risikovurdering av geofare for dagsoner og portalområder [14]. Fjellskjæringer og geofare ved tunnelportalområder er vurdert i egne rapporter i forbindelse med detaljprosjektering av tunnelpåhugg for hhv. Stavsjøfjelltunnelen [16] [17] og Helltunnelen.

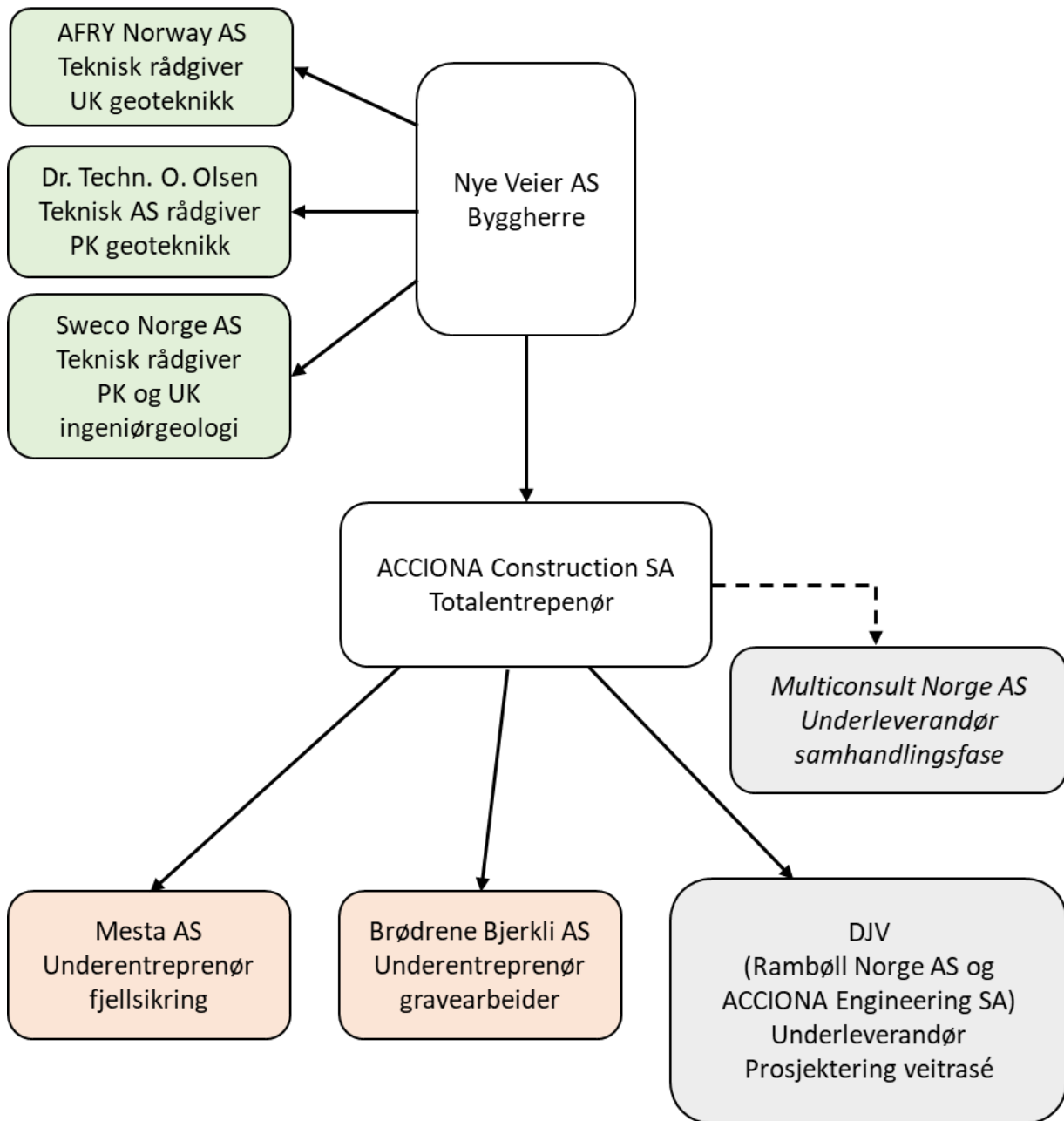
Som en del av kontrakten med totalentreprenøren er ressurser fra Rambøll Norge AS leid inn for å følge opp problemstillinger knyttet til grunnforhold ved arbeid i utførelsesfasen, inklusive vurdering av utført arbeid opp mot prosjekteringsgrunnlag innen geoteknikk.

For risikovurderinger og geotekniske beregninger for prosjektering av midlertidige anlegg benytter ACCIONA Construction SA egne ressurser og/eller leier inn eksterne ressurser.

Underentreprenører med roller av relevans for aktiviteter knyttet til det aktuelle skredområdet, er entreprenørene Brødrene Bjerkli AS og Mesta AS, der Mesta har arbeidet med rensk og sikring av bergskjæringen mot sør, mens Brødrene Bjerkli AS utfører graving og utkjøring av masser.

Nye Veier AS har kontrahert rådgivere innen geoteknikk og ingeniørgeologi for gjennomføring av prosjekteringskontroll (PK) og utførelseskontroll (UK). Nye Veier AS har egne ressurser for koordinering av prosjektering (KP) og koordinering av utførelse (KU) (Figur 4-1).

¹ Tunnelportal: Byggverk som benyttes i endene av fjelltunneler for å beskytte tunnelåpning mot rennende vann og fallende snø, is, stein og jord [65].



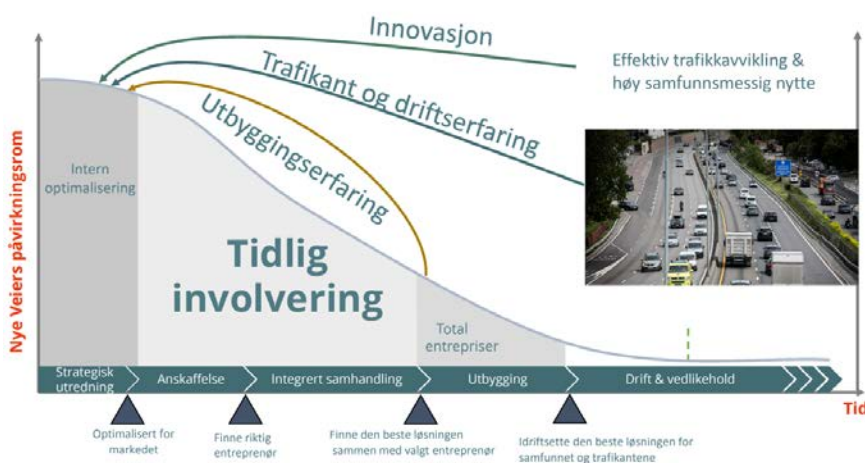
Figur 4-1. Aktører av relevans for skredet 4. mai ved veiprojektet E6 Ranheim-Værnes.

4.2.2 Byggherre

Nye Veier AS er et statseid aksjeselskap under Samferdselsdepartementet, med ansvar for planlegging, utbygging, drift og vedlikehold av deler av det norske riksveinettet. I Trøndelag bygger Nye Veier AS ny E6 fra Ulsberg i sør til Asp (Steinkjer) i nord, der E6 Ranheim-Værnes (E6RV) er ett av ni delprosjekter.

Nye Veier AS ble opprettet av Stortinget i 2016 med mål om å etablere en slank, effektiv og spesialisert byggherreorganisasjon, som i dag har 167 ansatte [18]. Nye Veiers prosessmodell og leverandørkjede er vist i Figur 4-2 og Figur 4-3. Oppdraget er å planlegge, bygge, drifte og vedlikeholde trafikksikre hovedveier. Veistrekningene som Nye Veier bygger skal redusere reisetid, knytte sammen bo- og arbeidsmarkedsregioner og sørge for færre drepte og hardt skadde i trafikken gjennom:

- Helhetlig planlegging og utbygging.
- Bygging av lengre veistrekninger om gangen.
- Tidligere involvering av entreprenøren som skal bygge veien for å få de beste løsningene.
- Å utfordre det etablerte ved å ta i bruk nye løsninger, materialvalg og prosjektmetoder.



Figur 4-2. Modell for Nye Veiers prosess [19].



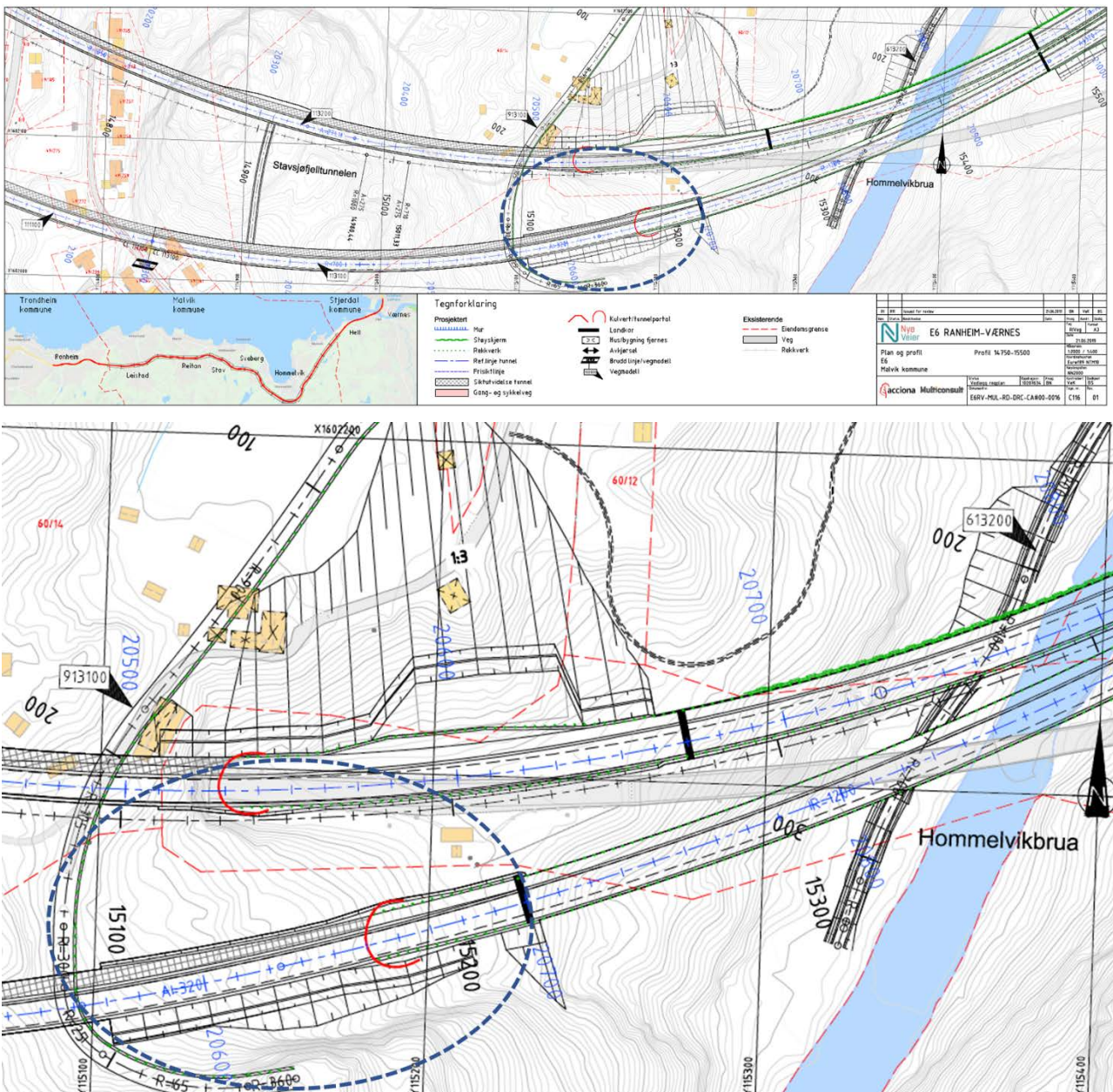
Figur 4-3. Leverandørkjeden i Nye Veiers modell [19].

4.3 Stavsjøfjelltunnelen utløp øst - skredområdet

4.3.1 Prosjektet trasé Stavsjøfjelltunnelen øst

Skredet gikk i påhuggsområdet for nytt tvillingløp sør for Stavsjøfjelltunnelen utløp øst. Senterlinjen for nytt tvillingløp ligger ca. 60 meter sør for senterlinjen ved påhugget på dagens E6 ved utløp øst (Figur 4-4).

Det er planlagt forskjæring sør for nytt tvillingløp (utløp øst) omtrent fra profilnummer 15110 og omtrent fram til profilnummer 15180. Skjæringen skal etableres langs en tilnærmet rett strekning med orientering omtrent 80° øst for nord (Figur 4-4). Største prosjekterte høyde på skjæringen er 25 m. Rett sør for det prosjekterte tunnelpåhugget er det en nær vertikal fjellskrent (Figur 4-5). Prosjektet trasé er lagt tett på foten av denne bergskrenten.



Figur 4-4. Planutsnitt av tegning C116 "Plan og profil – profil 14750 – 15500 [20]. Lokasjon for påhuggsområdet er merket med blå stiplede sirkel.



Figur 4-5. Dronebilde av anleggsområdet, med fjellskrent (hvit stiplet linje) og trasé for nytt tunnelløp (rød stiplet linje) sør for dagens E6. Prosjektet påhugg er indikert med rød heltrukken linje i vest. En tidligere anleggsvei, nå tursti, skimtes ovenfor anleggsområdet [13].

4.3.2 Geotekniske undersøkelser i skredområdet

De første grunnundersøkelsene ved påhuggsområdet for nytt tvillingløp ved Stavsjøfjelltunnelen utløp øst ble utført av Vegkontoret i Sør-Trøndelag på slutten av 1980-tallet, i forbindelse med etablering av dagens E6. I 2019 utførte Multiconsult grunnundersøkelser under prosjekteringsfasen. Deretter har Rambøll utført grunnundersøkelser i flere omganger under utførelsesfasen (Tabell 4-1).

Tabell 4-1. Utførte geotekniske undersøkelser.

Rapport	Utførende	År	Type undersøkelse	Oversendt SINTEF 2022
E6 øst, østre tunnelpåhugg Stavsjøfjellet [21]	Vegkontoret i Sør-Trøndelag	1988	Fjellsonderinger med lett utstyr og to prøveserier er tatt opp	JA
E6 øst, Homla bru [22]	Vegkontoret i Sør-Trøndelag	1988	Fjellsondering, dreiesondering og prøvetaking	JA
E6 øst, Riggplass ved Homla bru [23]	Vegkontoret i Sør-Trøndelag	1988	Dreiesondering, fjellsonderinger og 4 prøveserier	JA
Geoteknisk vurderingsrapport for reguleringsplan – Delstrekning Stavsjøfjelltunnelen - Helltunnelen [24]	Multiconsult	2019	3 total sonderinger	JA
Ground Investigation Factual Report, New Stavsjøfjell East Tunnel Portal [25]	Rambøll	2020	Totalsondering (7), CPTU, prøvetaking (3), indekstesting, grunnvannstand, ødometer og triaksial testing, kornstørrelse.	JA
Structures E60 East Portal Tunnel Stavsjøfjell New Tunnel [26]	Rambøll	2020	Totalsonderinger	NEI
E6 Ranheim – Værnes Geophysical investigations [27]	Rambøll	2020	Geofysisk undersøkelse	NEI

4.3.3 Geologi og grunnforhold i skredområdet

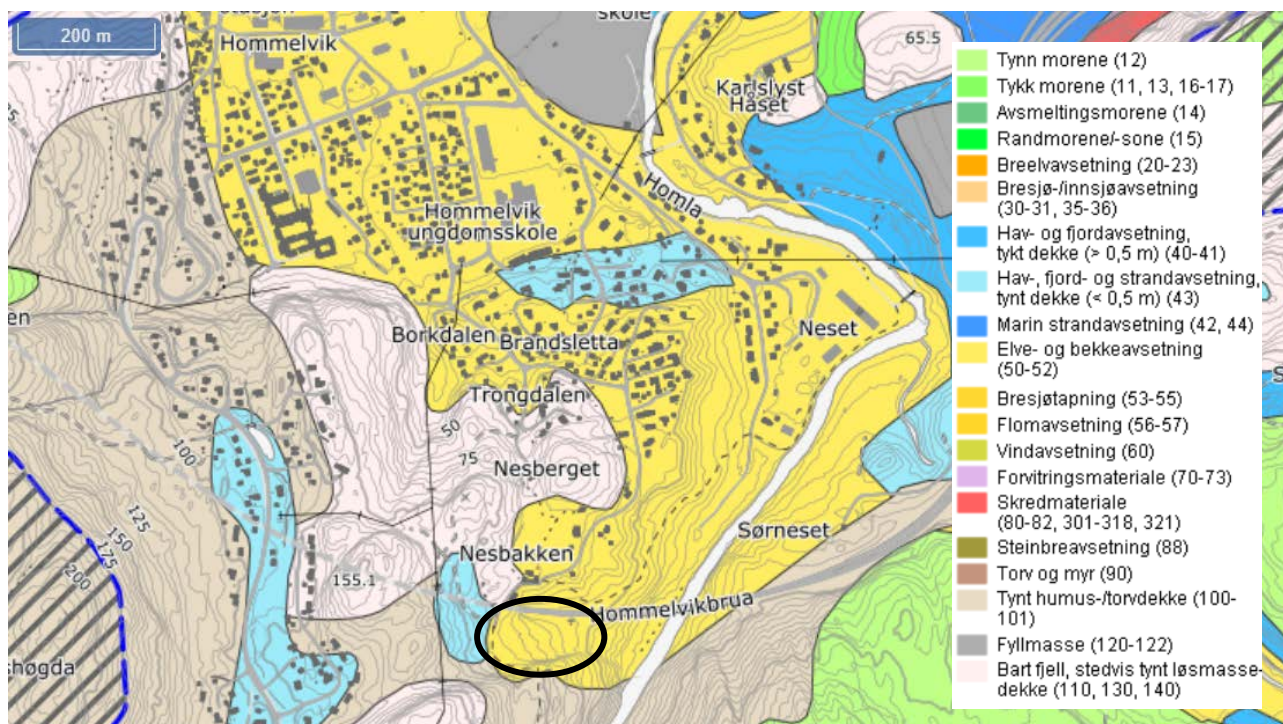
Geologi og grunnforhold i planområdet rundt påhuggsområdet for nytt tunneløp er beskrevet i flere rapporter. I det følgende gjengis et sammendrag fra Multiconsult [13] og DJV [14].

Påhuggsområdet ligger i en forsenkning i berggrunnen, med helning i retning Homla i øst. Bergartene i området består i hovedsak av omvandlede, foldede sedimentære bergarter fra ordovicisk tid, framskjøvet under den kaledonske fjellkjededannelse for ca. 400 millioner år siden.

Over berggrunnen består løsmassene i påhuggsområdet av sand (fluvial avsetning) i topplaget², over marin silt og leire (Figur 4-6). Tykkelsen (mektigheten) på løsmassene i skråningen varierer fra 0-25 meter, med økende mektighet østover. Største helning i skråningen var opprinnelig ca. 24°; dvs. 1(H):2,3(L), og var registrert i området ved fyllmassene i overgangen mellom turstien og fjellskrenten.

Løsmassedekket i området ovenfor og vest for påhuggsområdet er preget av tynt humusdekke, vekselvis med marine avsetninger av liten mektighet. Hele området ligger under marin grense.

Det er registrert kvikkleire/sprøbruddmateriale i området Nesbakken (nord for, og i veibanen for, dagens E6) og lengre øst i planområdet. Det er ikke påvist kvikkleire i det aktuelle påhuggsområdet sør for dagens Stavsjøfjelltunnel på E6RV.



Figur 4-6. Løsmassegeologi ved anleggsområdet og omegn [28]. Lokasjon for anleggsområdet er merket med svart sirkel.

I forbindelse med geotekniske vurderinger av stabiliteten før gjenåpning av E6 etter skredet 4. mai, har Rambøll [11] oppsummert grunnforholdene i anleggsråningen før skredene våren 2022:

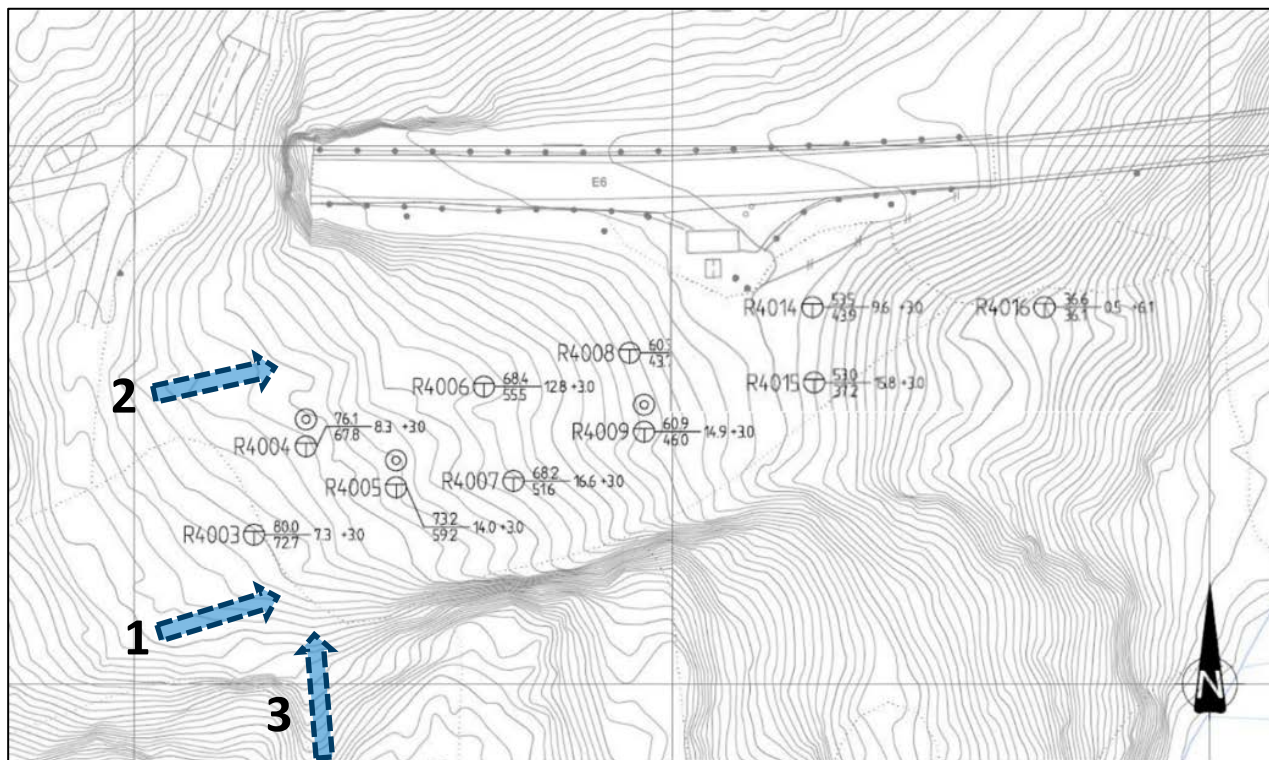
² NGUs løsmassekart kun viser løsmassene i topplaget. Det kan forekomme andre typer løsmasser under topplaget.

"Lagdelingen i området består i hovedsak av et sandlag under terreng med mektighet rundt 2 meter. Under sandlaget ligger et lag med silt med mektighet varierende fra ca. 2 meter til opp mot 5 meter. Laget med silt har innhold av sandlag, gruskorn og leire. Laboratorieforsøk viser at siltlaget har vanninnhold på rundt 20%. Mellom silt og berg ligger det middels fast leire. Leira er lite plastisk, og lite til middels sensitiv med vanninnhold fra 25 til 35 %. Mellom leire og berg er det i enkelte boringer et tynt lag av fastere masser. Lenger ned mot øst (Homla, borpunkt R4007-R4009) er mektigheten av det faste laget mellom leire og berg større.

Mot toppen av løsmasseskråningen (mot vest, borpunkt R4003 og R4004, se Figur 4-7) viser prøvetaking antatte/mulige fyllmasser over sandlaget. I dette området ligger det ikke leirelag mellom silt og berg, men et lag med blandingsmaterialer av silt, leire og sand (modellert som silt).

Vestover, mot toppen av den bratte skråningen ned mot Homla, var det ved utbygging av eksisterende E6 etablert en fylling som grunnlag for riggområde. Disse fyllmassene antas å være de faste massene i topp av borpunkt R4014 og R4015, noe som stemmer godt med beskrivelser i rapporten Ud450Er04". Ud450Er04 referer til [23].

"Det er ikke utført målinger av poretrykk eller grunnvannstand i området. Grunnvannstand er antatt liggende i overgangen mellom silt/leire, eller midt i siltlag".

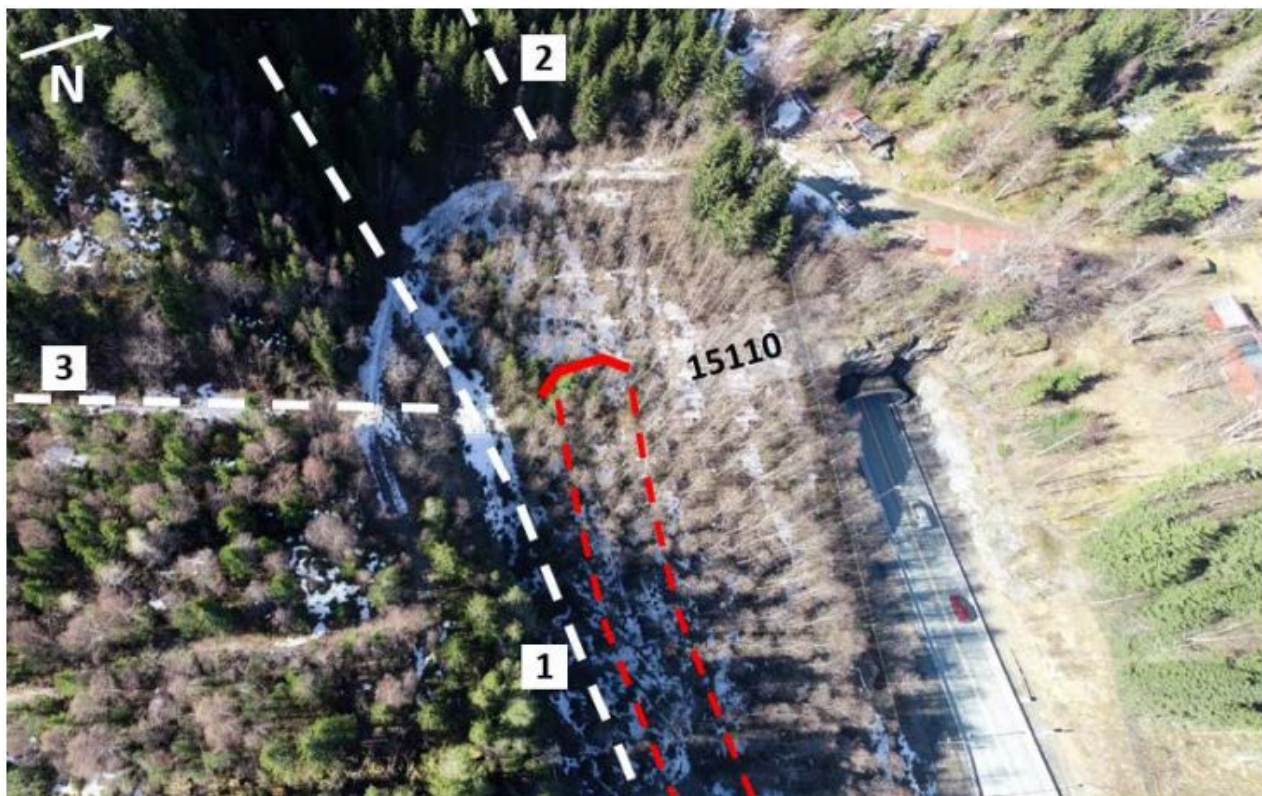


Figur 4-7. Kart med plassering av grunnundersøkelser utført av Rambøll i 2020-2021 (R4003-R4009 boret i 2020 [29], og R4014-R4016 boret i 2021 [30]). Blå piler med nummerering angir retning for tre svakhetssoner.

Svakhetssoner

I området ovenfor, og gjennom påhuggsområdet, er det registrert tre tydelige svakhetssoner (nummerert 1-3 i Figur 4-7, og i Figur 4-8), både ved befaringer utført av Multiconsult i forbindelse med reguleringsplanarbeid og av granskingsgruppen i forbindelse med befaring av skredområdet juni 2022. Disse svakhetssonene representerer mulige tilførselskanaler for vann til anleggsområdet.

Sone 1 er lokalisert langs foten av bergskrenten parallelt med prosjektert bergskjæring, sone 2 ligger rett ovenfor anleggsområdet og sone 3 er en steil svakhetssone med orientering normalt på prosjektert veilinje [13], øst for prosjektert påhugg.



Figur 4-8. Forsenkninger i terrenget angitt med hvite stiplede linjer. Rød stiplet linje markerer prosjektert vei, og rød heltrukket linje markerer prosjektert påhugg [13].

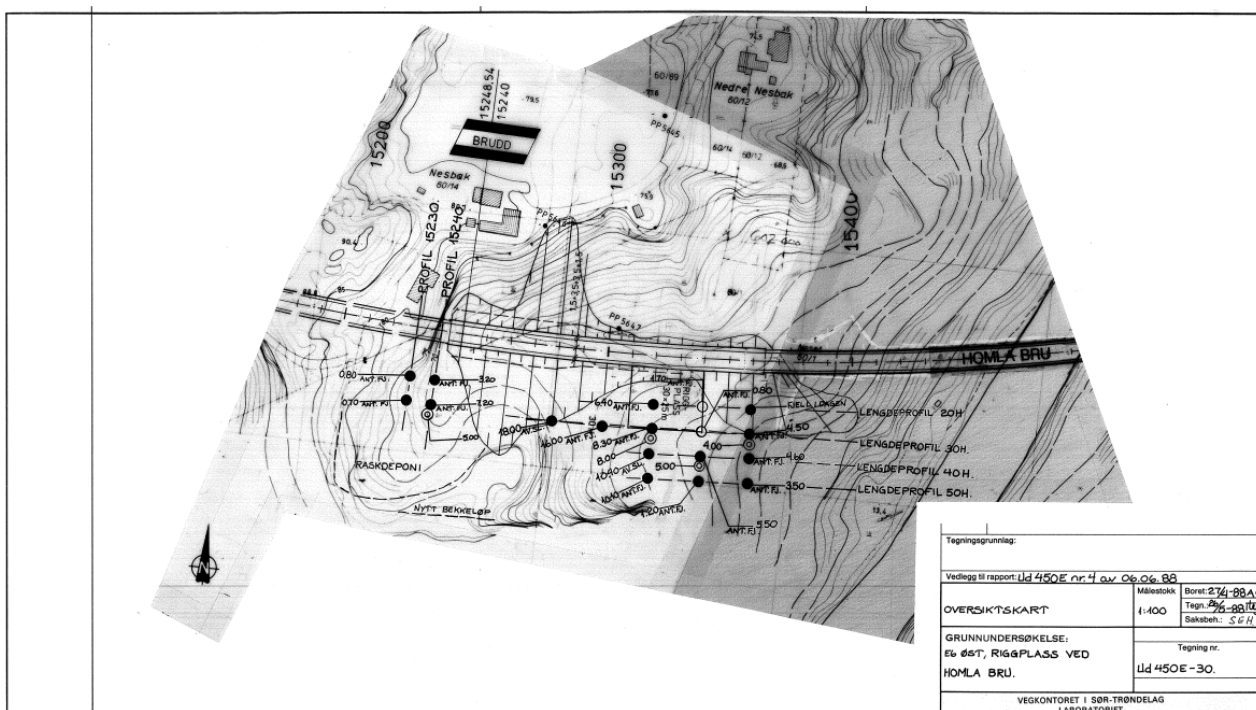
4.3.4 Arbeid i anleggsområdet 1988-1990

E6 Ranheim-Værnes ble utbygd i tidsrommet 1988-1995, der Stavsjøfjelltunnelen ble åpnet i 1990. I forbindelse med tunnelarbeidet ble det utført gravearbeid og masseforflytning i skråningen med anleggsområdet sør for dagens E6. Området var opprinnelig regulert til riggplass på 30 x 60 meter i høyde med E6, men dette ble vurdert til å gi stabilitetsproblemer. Det ble i stedet anbefalt å etablere en mindre riggplass (25 x 20 meter) for å gi stabile forhold [23] [31].

I området sør for påhugget til Stavsjøfjelltunnelen, i høyde med dagens tursti, ble det etablert en fylling ("raskmasser") oppå stedegne masser (Figur 4-9) (i området mellom "raskdeponi" og "nytt bekkeløp" i Figur 4-10). Fyllingen besto av masser som ble gravd ut i forbindelse med arbeidet som ble utført ved bygging av dagens E6. Fyllingen var plastret med stein.



Figur 4-9. Fylling plastret med stein sørøst i anleggsområdet. Venstre: foto tatt vertikalt på fyllingen, med fjellskrent i bakgrunnen [32]. Midten: fyllingen er merket med rosa skravur, eksisterende tunnellop er merket med gul skravur [32]. Høyre: Tunnelpåhugg for eksisterende Stavsjøfjelltunnel vises til høyre i foto av Statens vegvesen fra slutten av 1980-tallet. Rødstiplet linje viser planlagt trasé for nytt tvillingløp [13].



Figur 4-10. Oversiktskart over grunnundersøkelser for planlagt etablering av riggplass og raskdeponi ved bygging av tunnellop for Stavsjøfjelltunnelen [23].

Opprinnelig gikk et bekkeløp tvers over anleggsområdet fra vest og nedover i retning Homla i øst, i forlengelsen av svakhetszone 2 i Figur 4-8. I forbindelse med planleggingen av raskplass og riggplass i anleggsområdet på 1980-tallet, ble det naturlige bekkeløpet lagt om og ledet inn i en grøft innunder fjellskrenten i sør langs svakhetszone 1 (merket "A" i Figur 4-11). Terrenget i området ved planlagt riggplass var myrlendt og fuktig. For å avskjære vannet, ble det etablert en grøft oppstrøms riggplassen, med fall sørover og med utløp i nytt bekkeløp (merket "B" i Figur 4-11). Plassering av drengroften er også vist i flyfoto i Figur 4-12.



Figur 4-11. Bilde fra bygging av Stavsjøfjelltunnelen, østlig tunneløp, i 1988. Drensgrøfter er vist med svart stiplet linje.



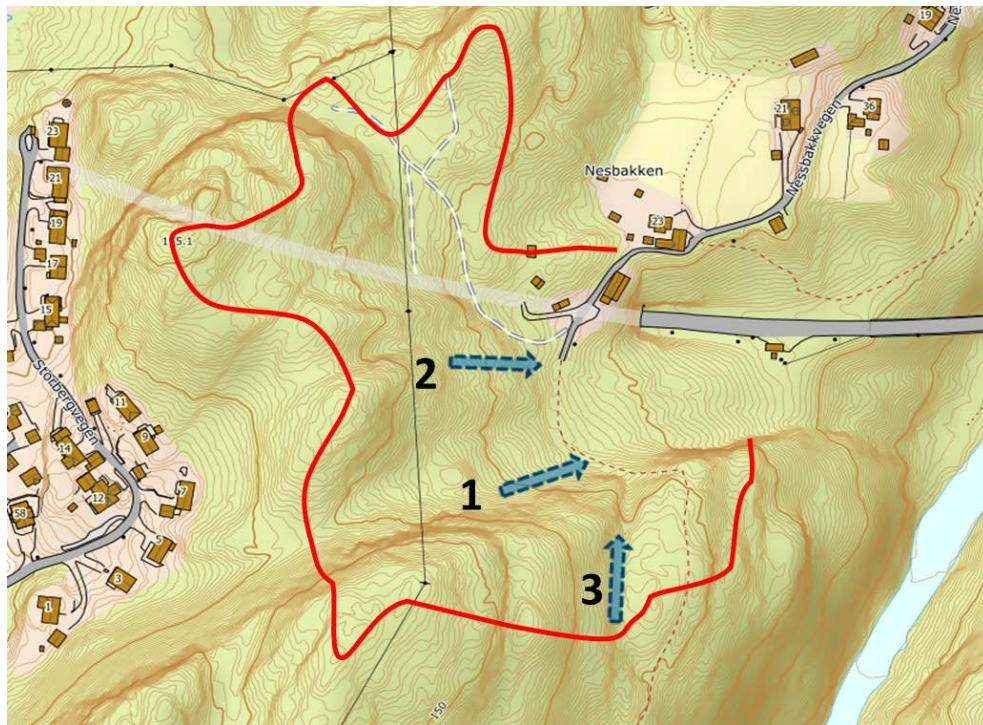
Figur 4-12. Flyfoto over anleggsområdet ved tunnelutløp øst ved Stavsjøfjelltunnelen, 1991. Drenskanalen vises sentralt i bildet (rød stiplet pil), fra anleggsvei ovenfor tunnelutløpet og østover (kart.finn.no).

Etter anleggsarbeidet på slutten av 1980-tallet har det ikke foregått anleggsarbeider i området før senhøsten 2021. Etter at E6 ble ferdigstilt, vokste anleggsområdet igjen med naturlig løvskog.

4.3.5 Hydrologiske data våren 2022

Nedbørfelt

Nedbørfeltet til anleggsområdet ved Stavsjøfjelltunnelportal øst er på ca. 61 000 m² (estimat basert på inntegnet areal i norgeskart.no) (Figur 4-13).



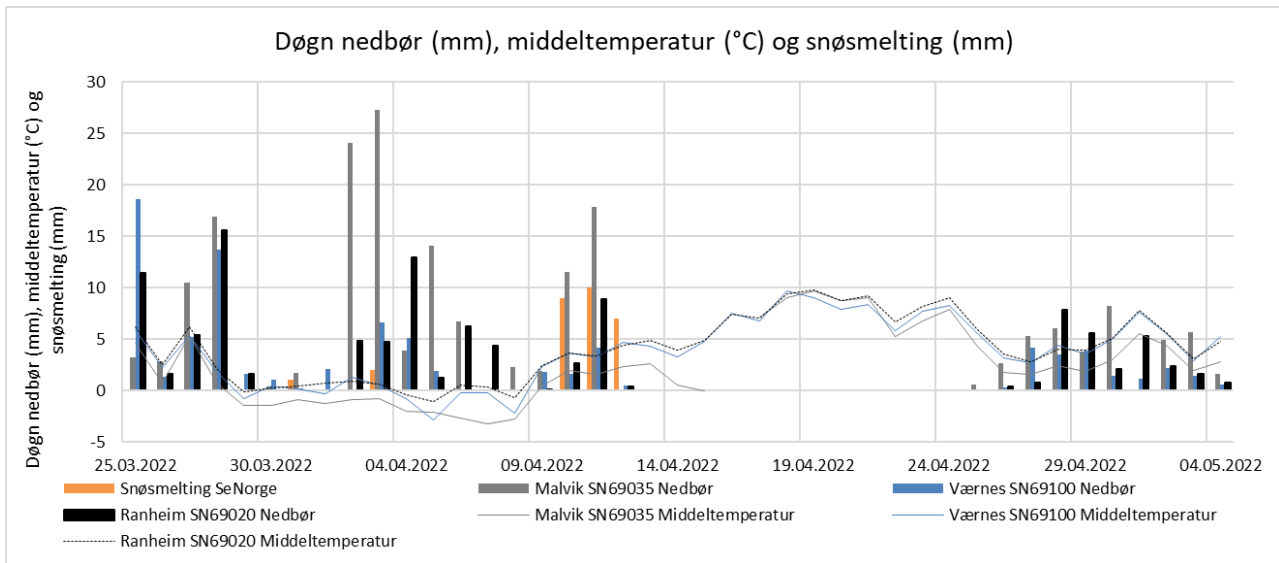
Figur 4-13. Nedbørfeltet til anleggsområdet (rød linje). Blå piler med nummerering angir retning for tre svakhetssoner som kan bidra til vanntilførsel inn i anleggsområdet (modifisert kart fra norgeskart.no).

Nedbør og temperatur våren 2022

Det er hentet inn nedbørs- og temperaturdata fra tre værstasjoner som ligger i nærheten av Stavsjøfjelltunnelportal øst: Malvik, Værnes og Ranheim (henholdsvis stasjon ID 69035, 69100 og 69020). Stasjonene ligger nær Trondheimsfjorden på kote +12 til kote +133. Stavsjøfjelltunnelportal øst ligger ca. på kote +65. Døggnedbør og middeltemperatur er tilgjengelig gjennom Norsk Klimaservicesenter. Type nedbør og snøsmelting er fremstilt på SeNorge og er vist sammen med døggnedbør og middeltemperatur i Figur 4-14 og Figur 4-15³. Datagrunnlaget viser fire nedbørsperioder i tidsrommet 25.03.2022 til og med 04.05.2022 (Figur 4-14). I de første to nedbørsperiodene (fram til ca. 08.04.2022) kom nedbøren hovedsakelig som en blanding av snø og sludd, som ble liggende på bakken fram til 09.04.2022. Mellom 09.04.2022 og 12.04.2022 smeltet snøen, samtidig som det kom nedbør som snø, sludd og regn, etterfulgt av ca. 14 dager med opphold og varmere vær. Den fjerde nedbørsperioden startet 27. april, og varte fram til 04.05.2022. Akkumulert nedbør i denne perioden varierte mellom 18,6 mm og 38,8 mm i form av regn ved de tre stasjonene. Gjennomsnittlig nedbørsmengde målt på stasjonene på Værnes og Ranheim lå i mars på 100 % i forhold til normalen fra perioden 1991-2020 og april på 95 % i forhold til normalen fra perioden 1991-2020⁴. For værstasjonen i Malvik finnes ikke data for normalnedbørperioden 1991-2020. Denne værstasjonen hadde høyere nedbørsmengder enn de andre to værstasjonene.

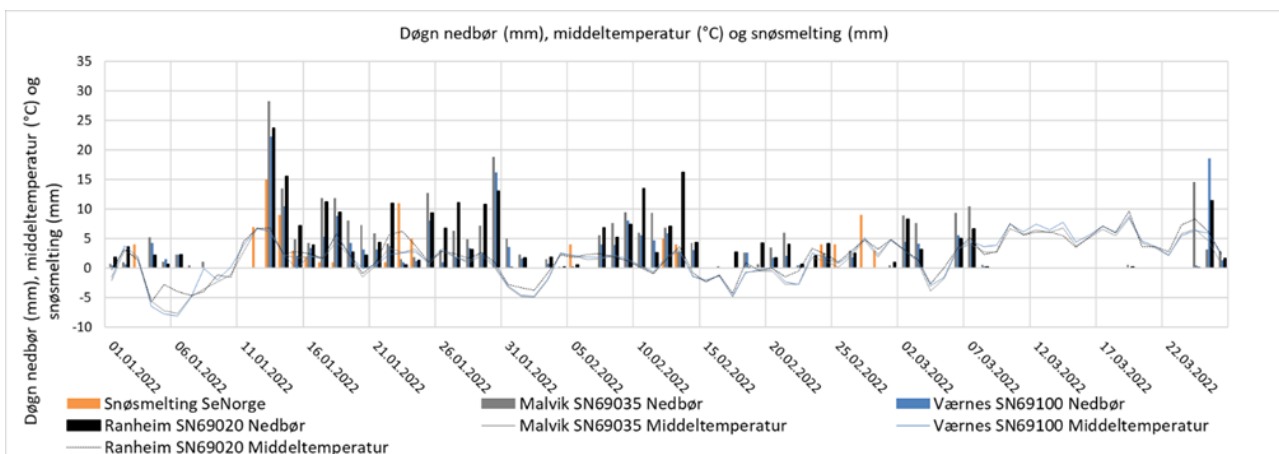
³ Data hentet fra www.senorge.no og www.seklima.met.no

⁴ Data hentet fra www.met.no



Figur 4-14. Døgnnedbør og middeltemperatur i periode 25.03.2022 til og med 04.05.2022³.

Siste halvdel av januar 2022 var det også en periode med varmegrader og mye nedbør i form av regn. Det var også en tørr periode med døgnsnittemperatur > 5 °C fra 7. mars til 23. mars. I denne perioden kan snøsmelting ha tilført vann til anleggsområdet (Figur 4-15).



Figur 4-15. Døgnnedbør og middeltemperatur fra 01.01.2022 til og med 25.03.2022³.

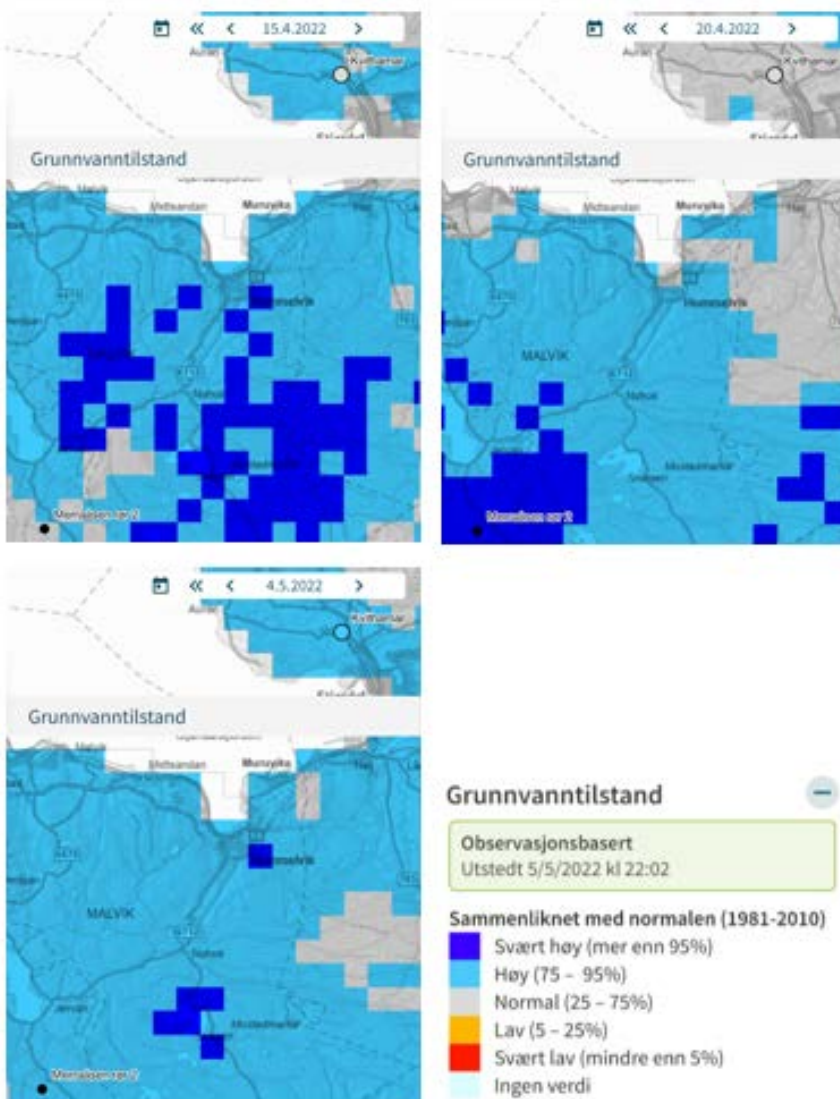
Vannmetning i grunnen

Den nærmeste grunnvannstasjonen med sanntids overvåking av grunnvanns- og temperaturdata, og som ligger i løsmasser (sandig/grusig morene), er på Merraåsen (340 moh), ca. 12 km sørvest for Stavsjøfjelltunnelen. Stasjonen er en del av NVEs landsomfattende grunnvannnett (LGN). Målinger ved Merraåsen⁵ viser at grunnvannstanden den 4. mai 2022 var drøyt 2,5 meter under bakkenivå, og at grunnvannsnivået hadde økt nokså jevnt fra 21. mars og fram til en topp 10. mai (Figur 4-16). Både årstidsvariasjonene og dybden på grunnvannsnivået er vanlig for denne stasjonen i denne årstiden, men grunnvannstilstanden ligger over normalen for året samlet sett. Tilsvarende grunnvannsforhold er registrert i samme periode i en grunnvannsbrønn på Kvithammer (Stjørdal), som også inngår i NVEs LGN (ikke vist her). Interpolert modellberegning av grunnvannsnivå antyder høy grunnvannstand og høy vannmetning i grunnen i området i dagene før skredet gikk (Figur 4-17).

⁵ Data hentet fra www.sildre.nve.no



Figur 4-16. Grunnvannstand (meter under terreng) for 8. november 2021 til 7. november 2022 for grunnvannstasjon Merraåsen 2⁵. Grunnvannstand 4. mai er markert med svart pil.



Figur 4-17. Grunnvannstilstand i området Malvik – Kvithammer i april/mai 2022³.

4.4 Sikkerhetsprinsipper for geoteknisk prosjektering E6RV

For geoteknisk prosjektering i E6RV er det benyttet standarder, håndbøker og retningslinjer gjeldende ved kontraktinngåelse mellom totalentreprenør og byggherre i 2018. Anbefalinger i følgende håndbøker ble lagt til grunn for prosjekteringen og for geoteknisk prosjektering i prosjektet [24]:

- Statens vegvesen, 2014: Håndbok N200 Vegbygging⁶
- Statens vegvesen, 2014: Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging
- Statens vegvesen, 2014: Håndbok V221 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger, rev. 2. juni 2014

I tråd med ovennevnte håndbøker, ble det i tillegg anbefalt å benytte følgende standarder og veiledninger for geoteknisk prosjektering [24]:

- NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner, (heretter kalt Eurokode 0).
- NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering, Del 1: Allmenne regler (heretter kalt Eurokode 7 - del 1).
- NS-EN 1997-2:2007+NA:2008 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering, Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver (engelsk tekst).
- NS-EN 1998-5:2004+NA:2014 Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Del 5: Fundamenter, støttekonstruksjoner og geotekniske forhold" (heretter kalt Eurokode 8 - del 5).
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2011: NVEs retningslinjer nr. 2, Flaum og skredfare i arealplanar.
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2014: tilhørende NVEs veileder nr. 7⁷.

Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging [33] oppsummerer kriterier for skadekonsekvenser ved brudd, som er førende for konsekvensklasser (CC) og pålitelighetsklasser (RC), samt krav til prosjekterings- og utførelseskontroll i veiprosjekter. Håndboken legger også føringer for krav til partialfaktorer, som er avhengig av grunnforholdene. Normalen N200 Vegbygging [34] inneholder sentrale krav som gjelder planlegging, prosjektering, bygging, vedlikehold og forsterkning av veier.

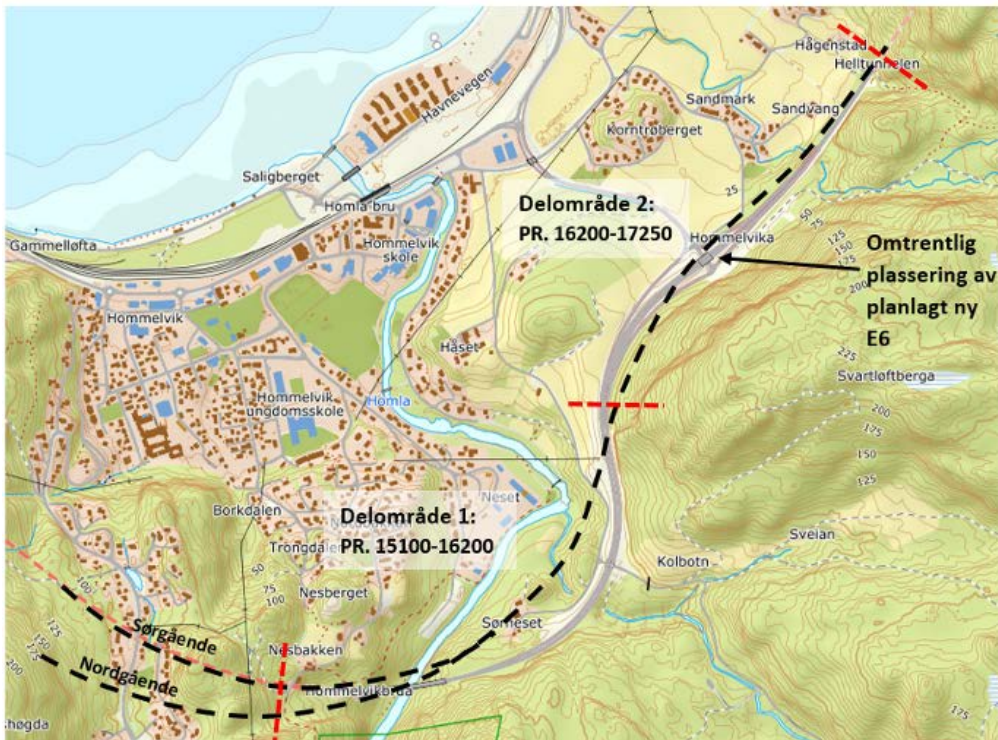
Veiprosjektet E6RV er i utførelsesfasen delt opp i delstrekninger og delområder. For hvert delområde i en delstrekning er det utarbeidet områdespesifikke sikkerhetsprinsipper ut fra grunnforhold og planlagte konstruksjoner [35], basert på føringer for sikkerhetsprinsipper som gitt i oversikten ovenfor. Utstrekning av delområde 1, som omfatter Stavsjøfjelltunnelen utløp øst, er vist i Figur 4-18.

For delområde 1 av delstrekningen som omfatter Stavsjøfjelltunnelen, er det av veiprosjektet valgt konsekvens- og pålitelighetsklasse (CC/RC) 2 og geoteknisk kategori 2 for E6 og for drifts- og lokalveier (Tabell 4-2) [24]. Konstruksjoner, inklusive påhuggsområdet ved Stavsjøfjelltunnelen utløp øst, er plassert i geoteknisk kategori 3, CC3/RC3, prosjekteringskontroll klasse 3 (PKK3) og utførelseskontroll klasse 3 (UKK3) [16].

⁶ Statens vegvesen: Håndbok N200 beskriver geoteknisk klassifisering av prosjekter i kap. 202.

⁷ NVEs veileder er i ettertid revidert og erstattet med Veileder Nr. 1/2019

(https://publikasjoner.nve.no/veileder/2014/veileder2014_07.pdf)



Figur 4-18 Delområder for delstrekning 5 i E6RV [24].

Tabell 4-2. Sikkerhetsprinsipper for delområde 1 [16] [24].

Delområde	1	
PR. ny E6	15100-16200	
	E6 / Lokal- og driftsveger	Konstruksjoner
Konsekvens- og pålitelighetsklasse	CC/RC 2	CC/RC 3
Bruddmekanisme	Nøytral	Nøytral
Sikkerhetsnivå (γ_M)	1,4	1,5
Geoteknisk kategori	2	3
Seismisk grunntype	_*	_*
Kontrollklasse og utførelseskontroll	PKK2/UKK2	PKK3/UKK3
Geoteknisk tiltakskategori	N/A	N/A

Klassifisering etter geotekniske kategorier gir føringer for grad av grunnundersøkelser og analyser som bør utføres [36]. Eurocode 7 – Del 1 [35] definerer hvilke typer konstruksjoner ulike geotekniske kategorier bør omfatte:

- "Geoteknisk kategori 2 bør omfatte konvensjonelle typer konstruksjoner og fundamenter uten unormale risikoer eller vanskelige grunn- eller belastningsforhold".
- "Geoteknisk kategori 3 bør omfatte konstruksjoner eller deler av konstruksjoner som faller utenfor grensene til geoteknisk kategori 1 og 2".

Eurocode 7 – Del 1 angir videre at geoteknisk kategori 3 omfatter bl.a. følgende eksempler:

- "Konstruksjoner som innebærer unormale risikoer eller uvanlige eller eksepsjonelt vanskelig grunn- eller belastningsforhold".
- "Konstruksjoner i områder der det er sannsynlig at grunnen er ustabil, eller der det forekommer vedvarende bevegelser i grunnen som krever separate undersøkelser eller spesielle tiltak" [35].

Geoteknisk kategori 2 og CC2/RC2 utløser prosjekteringskontrollklasse (PKK) 2 og utførelseskontrollklasse (UKK) 2. Dette innebærer for PKK2 krav om egenkontroll og sidemannskontroll, og en utvidet kontroll (utført av et uavhengig firma) av at egen- og sidemannskontroll har blitt utført og dokumentert [37]. Ved utførelseskontroll skal "byggearbeidet løpende kontrolleres, og resultatene fra kontrollen skal registreres" [35].

Geoteknisk kategori 3 og CC3/RC3 utløser PKK3 og UKK3. For PKK3 innebærer dette utvidet kontroll (ved et uavhengig firma) som omfatter kontroll av valgt konsekvensklasse, pålitelighetsklasse og bruddmekanisme, og vurdering av "om grunnundersøkelser gir tilstrekkelig grunnlag for de geotekniske vurderingene som er utført". I tillegg skal det gjøres en "vurdering (eventuelt tolking) av jordparametere basert på tilgjengelig informasjon" og en "vurdering av utførte beregninger inklusiv benyttede lagdelinger/parametere og regnemodeller". Det skal også gjøres en "vurdering om utførte beregninger dekker kritiske faser og områder". Dokumentasjon i PKK3 skal foreligge som en kontrollrapport/notat til byggherren [34]. Videre skal det gjøres registreringer som omfatter "viktige trekk ved grunnen og grunnvannet, rekkefølge av arbeid, avvik fra prosjekteringen og resultater fra målinger og tolking av disse" [35]. Uavhengig kontrollør gjør også "enkle overslagsberegninger for grov stikkprøvekontroll" [35]. Dokumentasjon fra utvidet utførelseskontroll i UKK3 skal fremlegges byggherren [34].

I E6RV brukes prosjektstøtteverktøyet PIMS⁸. Det legges ut varslings i PIMS for rapporter som PK skal kontrolleres. Det legges ikke ut varslings for dokumenter av lavere kategori, som for eksempel notater og referat.

4.5 Farekartlegginger, risikovurderinger og ROS-analyser

4.5.1 Krav om kartlegging av risikoforhold i bygge- og anleggsprosjekter

Byggherreforskriften (BHF) og plan- og bygningsloven (PBL) stiller krav om at risikoforhold som angår bygge- og anleggsfasen og for ferdig anlegg/bygg skal kartlegges og beskrives. De to lovene har ulike hovedformål; byggherreforskriftens hovedformål er å sikre at arbeidstakerne på bygge- og anleggsplasser blir vernet mot farer gjennom hele bygge- og anleggsprosessen [38], mens plan- og bygningsloven i hovedsak er rettet mot planer for fremtidig bruk av arealer og krav til byggverk som skal oppføres [39]. Felles for begge er at kartlegging av risikoforhold i tidlig fase vil kunne avdekke fare for uønskede hendelser som vil kunne skje i utførelsesfasen [40].

⁸ PIMS: Process Information Management Systems. PIMS er programvareløsninger som samler inn sanntidsdata til en historikkdatabase fra produksjonsprosesser.

Byggherreforskriften (BHF)

I henhold til BHF er byggherren den øverste ansvarlige for prosjektet, og har ansvar for å sørge for eller påse at de utførende får et trygt arbeidsmiljø i bygge- eller anleggsfasen. Byggherren skal under planlegging og prosjektering (BHF § 5): a) ivareta sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ved de arkitektoniske, tekniske eller organisasjonsmessige valg som foretas; b) kartlegge risikoforhold som har betydning for arbeidene som skal utføres; c) vurdere risikoen som er kartlagt etter bokstav b og utarbeide planer med tiltak for å fjerne eller redusere risikoen; d) dokumentere kartleggingen, risikovurderingen og planene etter bokstav b og c; e) sørge for at det avsettes tilstrekkelig tid til prosjektering og utførelse av de forskjellige arbeidsoperasjoner; og f) dokumentere vurderingene som ligger til grunn for den tid som avsettes etter bokstav e. Byggherre har også ansvaret for utpeking og oppfølging av koordinator for prosjekterings- og utførelsesfasen (§ 13).

De prosjekterende har et selvstendig ansvar for å risikovurdere sine løsninger, inklusive risikovurdering av sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA) på bygge- eller anleggsplassen (BHF § 17).

Utførende entreprenør er ansvarlig for å risikovurdere sine egne arbeidsoppgaver, i henhold til krav iblant annet internkontrollforskriften og byggherreforskriften. For utførende virksomheter betyr kravet i byggherreforskriften bl.a. at relevante risikoområder som er kartlagt og vurdert i tidligfase, skal videreføres. I tillegg er de ansvarlige for å innarbeide spesifikke tiltak og føringer fra byggherrens SHA-plan, i sitt eget HMS-system i prosjektet (jf. BHF § 18) [38].

Internkontrollforskriften

I internkontrollforskriftens § 5 som omhandler innholdet i virksomhetenes systematiske helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid, inngår også krav om å *"kartlegge farer og problemer og på denne bakgrunn vurdere risiko, samt utarbeide tilhørende planer og tiltak for å redusere risikoforholdene"*. Det er videre et krav om at denne aktiviteten skal dokumenteres skriftlig [41].

Plan- og bygningsloven (PBL) og Byggteknisk forskrift (TEK 17)

I henhold til PBL skal det utarbeides risiko- og sårbarhetsanalyse ved alle planer for utbygging (jf. PBL § 4-3).

Sikkerhet i utførelsesfasen ivaretas gjennom Tek 17 og PBL, slik som gjennom sikkerhet mot naturpåkjenninger (gjennom TEK 17 §7-2) og til planlegging, prosjektering og gjennomføring av sikringstiltak ved byggearbeid (PBL § 28-2): *"Bygge- eller rivningsarbeid, graving, sprenging eller fylling kan ikke igangsettes uten at de ansvarlige på forhånd har truffet nødvendige tiltak for å sikre mot at skade kan oppstå på person eller eiendom, og for å opprettholde den offentlige trafikk"*. Ansvarlig prosjekterende er i henhold til PBL § 23-5 ansvarlig for at disse tiltakene blir prosjektert.

4.5.2 Farekartlegging og risikoanalyser utført i E6RV

I reguleringsfasen er det utført overordnet ROS-analyse for ferdig anlegg (dvs. veitrasé for ny E6) [42]. I ROS-analysen kommenteres at risiko i anleggsfasen er vurdert kun i begrenset grad, og at *"dette forutsettes ivaretatt gjennom detaljprosjekteringen, SHA-plan og gjeldende lover og forskrifter"*.

I forbindelse med utarbeidelse av reguleringsplan for ny E6 (110 km/t-veilinj) er det utført ingeniørgeologiske og geotekniske grunnundersøkelser og vurderinger av geofare og stabilitetsforhold. Disse undersøkelsene oppsummerer geotekniske problemstillinger og grunnlag for geotekniske beregninger og vurderinger for reguleringsplan for delstrekning Stavsjøfjell-

tunnelen [24] og Helltunnelen, vurdering av bergskjæringer, risiko for skred og steinsprang i dagsonen [13], samt ingeniørgeologiske undersøkelser og vurderinger (inkl. tolkning av geo- og skredfare) for nytt tunnellop og portalområder for Stavsjøfjelltunnelen [43]. Vedlegg D i geoteknisk vurdering for reguleringsplan [24] oppsummerer de førende sikkerhetsprinsipper som er oppsummert i delkapittel 4.4.

For prosjekteringsfasen er granskingsgruppen forelagt rapporter med geotekniske og ingeniørgeologiske vurderinger av geofarer som kan påvirke *ferdig anlegg*. Det er utført geotekniske vurderinger for dagsone 4 + 5 [15] og ingeniørgeologiske vurderinger for fjellskjæringer og geofare for dagsone 4+5 [44], som dokumentasjonsgrunnlag for geoteknisk detaljprosjektering [15] og for ingeniørgeologisk detaljprosjektering [14] langs strekningen. For påhuggsområdet sør for Stavsjøfjelltunnelen utløp øst ved dagens E6, er det utført detaljprosjektering av fjellskjæringen samt en risikovurdering av geofare fra bratt terreng ovenfor påhuggsområdet [16]. Rapporten oppsummerer også sikkerhetsprinsippene for påhuggsområdet der skredet gikk. Sikkerhetsprinsippene for påhuggsområdet er definert i geoteknisk kategori 3, konsekvensklasse 3 og pålitelighetsklasse 3 [16].

Totalentreprenøren har fått utført en stabilitetsanalyse for to løsmasseprofil i påhuggsområdet i forkant av planlagt etablering av *midlertidig anleggsvei* [45].

Ved oppstart av arbeidet på anleggsplassen gir byggherres plan for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-planen) viktige føringer for hvordan risikoforholdene som følger av byggherrens og de prosjekterendes valg, skal håndteres. SHA-planen skal bygge på risikovurderinger, og tilpasses det aktuelle bygge- eller anleggsarbeidet [38]. SHA-planen for E6RV-prosjektet inneholder en risiko- og tiltakstabell, der prosjektspesifikk risiko med tilhørende tiltak og ansvarlig for oppfølging er gjengitt [46].

Underentreprenør graving har utført risikovurderinger med hensyn på arbeidstakernes sikkerhet ved gjennomføring av planlagt gravearbeid i påhuggsområdet [47] [48].

Det gjennomføres fellesbefaringer for hhv. geoteknikk og ingeniørgeologi hver 14. dag, både i det aktuelle påhuggsområdet og i andre delområder ved E6RV der det pågår anleggsarbeid. Representanter fra byggherre, totalentreprenør, prosjekterende og kontrollerende er invitert til å delta i befaringsene.

Del II: Analyse av direkte og bakenforliggende årsaker til skredet

5 Direkte årsaker til skredet

I dette kapittelet vurderes fysiske og tekniske forhold av betydning for at skredet oppsto, herunder hvordan naturgitte forhold og/eller menneskelige inngrep kan ha påvirket stabiliteten i området. Bakenforliggende forhold av betydning for hendelsen vurderes i kap. 6.

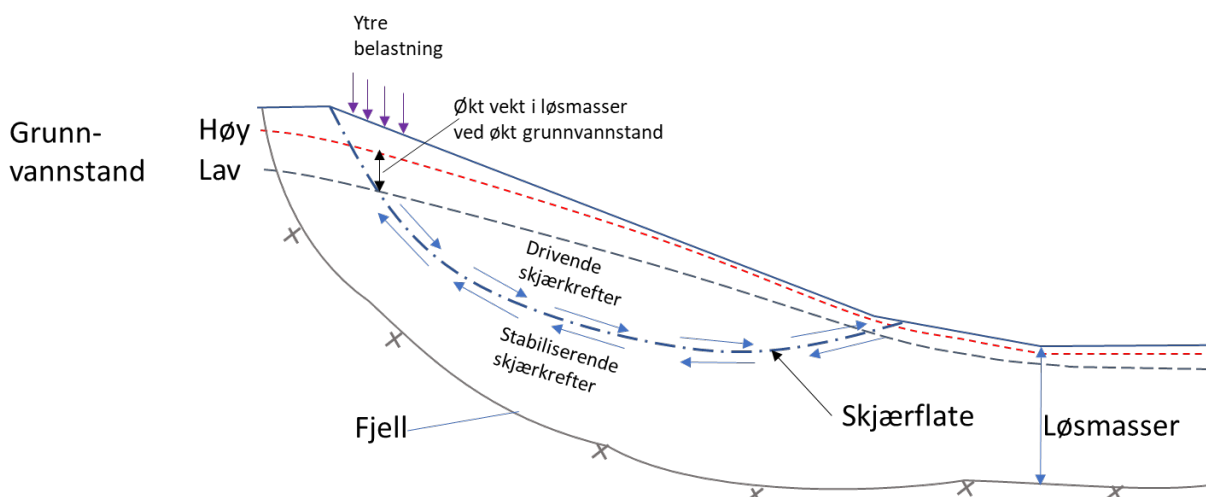
5.1 Bakgrunn - kort om jordskred

NVE har definert jordskred som følger: "Jordskred er raske utglidninger og bevegelse av vannmettede løsmasser i bratte skråningsgradienter, utenfor definerte vannveier" [49]. Jordskred skjer i bratte skråninger der det ligger løsmasser, og starter med en plutselig utglidning langs et glideplan i vannmettede løsmasser, ofte med en halvsirkelformet bruddkant. Løsmassene beveger seg i en rask massestrøm nedover skråningen, der de groveste massene avsettes nederst som en tungeformet rygg [49]. Hvor langt skredmassene blir transportert, avhenger av terrenghelningen i utløpsområdet, egenskaper til løsmassene involvert i skredet, samt vannmetningsgraden i skredmassene.

Jordskred utløses vanligvis i skråninger som er brattere enn 30°, men kan også utløses i skråninger med helningsgrad ned til 20-25°. Sistnevnte oppstår særlig i områder uten vegetasjon, skråninger med tynt løsmassedekke oppå fjelloverflater med liten ruhet, eller som følge av store, uheldige menneskeskapt inngrep. Jordskred forekommer vanligvis i morene, men kan også oppstå i tidligere avsatte skredmasser, forvitningsmateriale, i marine leirer og i friksjonsmasser som elveavsatt (fluvial) sand og grus [49].

Drivende og stabiliserende krefter

Jordskred utløses når løsmassene utsettes for *drivende* skjærkrefter som er større enn de *stabiliserende* skjærkreftene som holder massene på plass (se Figur 5-1). De drivende skjærkreftene er et resultat av gravitasjonskraften, og avhenger av hvor bratt skråningen er og hvor tungt materialet og den "ytre" belastningen er. De stabiliserende kreftene er summen av friksjon og kohesjon innad i massene, og mellom massene og underlaget.



Figur 5-1. Snitt gjennom skråning med en potensiell bruddflate (SINTEF 2022).

De drivende skjærkreftene i en løsmasseskråning øker ved i) at høyere grunnvannstand og økt vannmetningsgrad gir økt last, og ved ii) ytre belastning i toppen av en skråning (som deponering av masser). De stabiliserende kreftene blir redusert ved at den økte lasten overføres som et

poreovertrykk i finkornige masser som leire. Poreovertrykket medfører at kornene i leira presses fra hverandre og fører til en økt mobilisering (høyere utnyttelse av tilgjengelig styrke). Oppsummert gir økt grunnvannstand og økt "ytre" belastning en total last-økning som bidrar til både en økning i de drivende skjærkreftene i en skråning og en reduksjon i de stabiliserende skjærkreftene i skråningen. De stabiliserende kreftene kan også bli redusert ved erosjon eller menneskelige inngrep i foten av en skråning.

5.2 Naturgitte forhold

Økning av grunnvannstanden i løsmasser oppstår når løsmassene tilføres vann raskere enn vannet dreneres ut. Naturgitte forhold som utløser jordskred er derfor ofte kraftig nedbør, gjerne i kombinasjon med snøsmelting. Disse faktorene er sammen med andre klimatiske forhold, topografi, berggrunnsgeologi, type løsmasser og avsetningens tykkelse ofte avgjørende for om et skred utløses, og blir nærmere omhandlet i det følgende.

Oppsummering av løsmasser i påhuggsområdet før terrenginngrep 2022

De opprinnelige grunnforholdene i skråningen i påhuggsområdet før terrenginngrep våren 2022 er beskrevet i kap. 4.3.3, og gjengis her i korthet. Sonderboringer utført i 2020/2021 [29] viste at løsmassene i anleggsområdet besto av ca. 2 meter sand over ca. 2-5 meter silt med innhold av sand, grus og leire, og et vanninnhold på ca. 20%. Dybden til fjell varierte mellom 3-25 meter. I overgangen mot fast fjell lå middels fast leire med vanninnhold på 25-35%. Mellom leire og fjellgrunn er det i noen områder et tynt lag med fast masse (antatt morene). Øverst i løsmasseskråningen i området mellom fjellskrenten og turstien lå fyllmasser over sandlaget. Disse fyllmassene var opprinnelig plastret med stein. I dette området er det ikke leirlag mellom silt og berg, men et lag med blandingsmaterialer av silt, leire og sand. Sonderboringene (R4003 og R4004) viser at toppmassene i dette området hovedsakelig består av silt. Det er lavere boremotstand i totalsonderingene og dermed lavere skjærstyrke i leira ved de to øverste boringene i Figur 4-7 sammenlignet med boringene lengre ned.

Oppsummert viser de tidligere undersøkelsene at løsmassene i skråningen er lagdelte, at øverste lag over leira er mottakelige for vann, at det er ulik skjærfasthet i leira i ulike deler av skråningen, og at det under de permeable massene finnes et tykt lag med marin leire i midtre og nedre deler av påhuggsområdet.

Tilslig av vann - nedbørsfelt

Svakhetssonene som er observert i terrenget oppstrøms påhuggsområdet (Figur 4-8) representerer forsenkninger i terrenget som utgjør mulige tilførselskanaler for vann til løsmassene i påhuggsområdet. I tillegg har det tynne løsmassedekket i nedbørsfeltet oppstrøms påhuggsområdet liten fordrøyningsseffekt, og leder vann direkte inn i området. Ettersom nedbørsfeltet som drenerer inn til påhuggsområdet er preget av bart fjell og/eller tynt løsmassedekke med lavpermeable masser, vil det meste av nedbøren og smeltet snø relativt raskt drenere inn i løsmassene i anleggsområdet.

Værforhold og vannmetning i grunnen i Malvik våren 2022

Sammenstillingen av nedbør- og temperaturforholdene våren 2022 i kap. 4.3.5 viser at nedbørmengden våren 2022 lå på normalen for årstiden i dette området, mens vannmetningsgraden i grunnen var svært høy sammenlignet med normalen for året sett under ett (Figur 4-17).

Det var kuldegrader fra januar og til starten av mars. Deretter kom en periode med plussgrader fram til slutten av mars, da gjennomsnittstemperaturen igjen sank til under null grader fram til medio april. I kuldeperiodene ble nedbør akkumulert som snø, og i første halvdel av april lå det fortsatt snø på terrengflata. Siste rest av snøen smeltet medio april, da det ble varmere vær samtidig med at det kom nedbør i form av regn. Videre fulgte en tørrværsperiode på ca. to uker fram til slutten av april, før det igjen kom nedbør i form av regn fram til 4. mai.

Flere av de involverte aktørene har fortalt at det var mye vann i grunnen i dagene forut for skredet. Samlet sett sannsynliggjør disse observasjonene at grunnvannstanden lokalt i anleggsområdet sto høyere enn normalt ved inngangen av mai 2022, og at en mild senvinter og snøsmelting kan ha bidratt til høyere grunnvannstand i månedsskiftet april/mai 2022.

5.3 Skråningsstabilitet og stabilitetsberegninger

Løsmasseskråningen i anleggsområdet har stått stabil i perioden fra forrige anleggsvirksomhet på slutten av 1980-tallet og fram til skredene oppsto våren 2022. Siden forrige anleggsvirksomhet har området ligget urørt fram til høsten 2021, da vegetasjonen i skråningen ble fjernet. Deretter ble det utført innledende anleggs- og gravearbeid mars/april 2022, som ble gjenopptatt onsdag 4. mai 2022 da skredet med utløp over E6 gikk. Det er ikke observert noen form for naturlig erosjon i løsmasseskråningen.

Iht. krav i SVVs håndbok N200 skal skråningshelning i løsmasser og nødvendige sikringstiltak tilpasses løsmassenes stabilitets- og erosjonsforhold [34]. Skredene som oppsto 15. april og 20. april indikerer at lokalstabiliteten i området i utgangspunktet var lav før terrengarbeidet startet våren 2022. Største tillatte helning for skjæring i tørr finsand eller silt, og for leire, er 1(H):3(L) (Tabell 5-1) [34]. Terrenget i anleggsområdet var opprinnelig brattere enn 1(H):3(L), og besto av lagdelte og vannmettede løsmasser med innslag av middels sensitiv leire (se kap. 4.3.3 og 5.2). Disse forholdene tilsier at det iht. kravene i SVVs håndbok N200 (fotnote 1 i Tabell 5-1) skal gjennomføres en vurdering og dokumentering av profil opp mot sikringstiltak. Granskingsgruppen kjenner ikke til at en slik dokumentasjon foreligger for den aktuelle løsmasseskråningen.

Totalentreprenøren har utført stabilitetsberegning for to profil i løsmasseskråningen i forbindelse med prosjektering av midlertidig anleggsvei. Granskingsgruppen kjenner ikke til at det er utført andre stabilitetsanalyser i det aktuelle området før anleggsarbeidet startet opp eller underveis i forløpet med skredhendelsene.

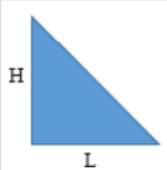
For å undersøke lokalstabiliteten nærmere, har SINTEF utført stabilitetsanalyser for skråningen før og etter terrenginngrep våren 2022. SINTEFs analyser er utført med utgangspunkt i et profil som Rambøll AS etablerte for hovedbanen for skredet 4. mai, i forbindelse med geoteknisk vurdering av skråningsstabiliteten forut for gjenåpning av E6 etter skredet 4. mai [11].

Tabell 5-1. Største anbefalte skråningshelning for skjærings- og fyllingskråninger ved ulike grunnforhold [34].

Krav 1.11.1—2 **SKAL**
 Skråningshelningen skal ikke være brattere enn angitt i [Tabell 1.11.1—1](#).

Tabell 1.11.1—1 – Største skråningshelning for skjæring

Grunnforhold	Største skråningshelning (H:L)	
	Uten sikringstiltak	Med sikringstiltak (overflatetiltak)
Stein	1:1,5	1:1,5
Grus	1:2	1:1,5
Sand $C_u > 5$	1:2	1:1,5
Finsand, silt	tørr	1:3
	lagdelt	<u>a</u>
	vannmettet	<u>a</u>
Leire	1:3 <u>b</u>	1:2 <u>b</u>
Morene		1:2,5 <u>c</u>
	lagdeling og grunnvannsuttrekk	<u>d</u>

H  **L**

a Ved lagdelt og/eller vannmettet finsand/silt vurderes skråningshelning spesielt. Profilert vurderes og dokumenteres i sammenheng med sikringstiltak.

b Tilstrekkelig sikkerhet mot dyperegående glidninger undersøkes og dokumenteres.

c En brattere helning kan aksepteres dersom masser, lagdeling og vannuttrekk tilsier at det vil være stabilt. En slik vurdering dokumenteres.

d Ved lagdeling og grunnvannsuttrekk vurderes og dokumenteres behovet for sikringstiltak spesielt.

5.3.1 Generelt om stabilitetsanalyser som dokumentasjon på sikker byggegrunn

Stabilitetsanalyser kan bidra til å dokumentere graden av sikkerhet i bygge- og anleggsgrunn, ved å identifisere mål på belastningen i skråningen og sammenholde denne belastningen med styrken som er dokumentert i grunnundersøkelser [50]. Forholdet mellom belastningen og styrken i grunnen angis ved en sikkerhetsfaktor, F , der $F = \text{styrke/belastning}$. Gjerdrum-utvalget [50] oppsummerer sikkerhetsfaktoren slik: "En faktor $F = 1$ innebærer at belastningen er lik styrken og skråningen står i en bruddtilstand. Sikker byggegrunn krever $F > 1$ med en tilstrekkelig god margin. Gjennom geoteknisk design kan belastningen reduseres ved terrengjusteringer eller styrken økes ved grunnforsterkning".

Videre oppsummerer Gjerdrum-utvalget følgende krav til type stabiliteter som beregningene bør dokumentere [50]:

"NVEs veileder 1/2019 angir at stabilitetsberegningene skal dokumentere både langtidsstabilitet og korttidsstabilitet (NVE, 2020).

Langtidsstabiliteten dekker i prinsipp en situasjon der det ikke forventes å skje noen lastendringer i skråningen, for eksempel i en naturlig skråning. Langtidsstabiliteten beregnes ved en «drenert analyse» som også betegnes en effektivspenningsanalyse. Analysen gir en sikkerhetsfaktor $F = F_{cp}$. Drenert analyse krever kunnskap om vanntrykket (poretrykket) inne i skråningen.

Korttidsstabiliteten dekker hva en (leir)skråning vil kunne tåle under raske lastendringer før den går til brudd for eksempel som følge av en oppfylling, utgravning eller et mindre initialt skred i skråningsfoten. Korttidsstabiliteten beregnes ved en «udrenert analyse» som også betegnes som en totalspenningsanalyse og gir sikkerhetsfaktoren, $F = F_{cu}$. Den udrenerte analysen gir skråningens robusthet for forstyrrelser og forteller om en forstyrrelse kan gi skred eller ikke. Betegnelsen "udrenert" kommer av at porevannet for en korttidstilstand er fanget i tett leire slik at vannet ikke kan unnslippe eller "dreneres ut". Udrenert styrke er ofte lavere enn drenert styrke for kvikkleire og den udrenerte stabiliteten blir gjerne kritisk. Den udrenerte styrken gis som "input" til stabilitetsprogrammer og betegnes aktiv skjærstyrke. Styrken varierer i dybden og mellom ulike lag".

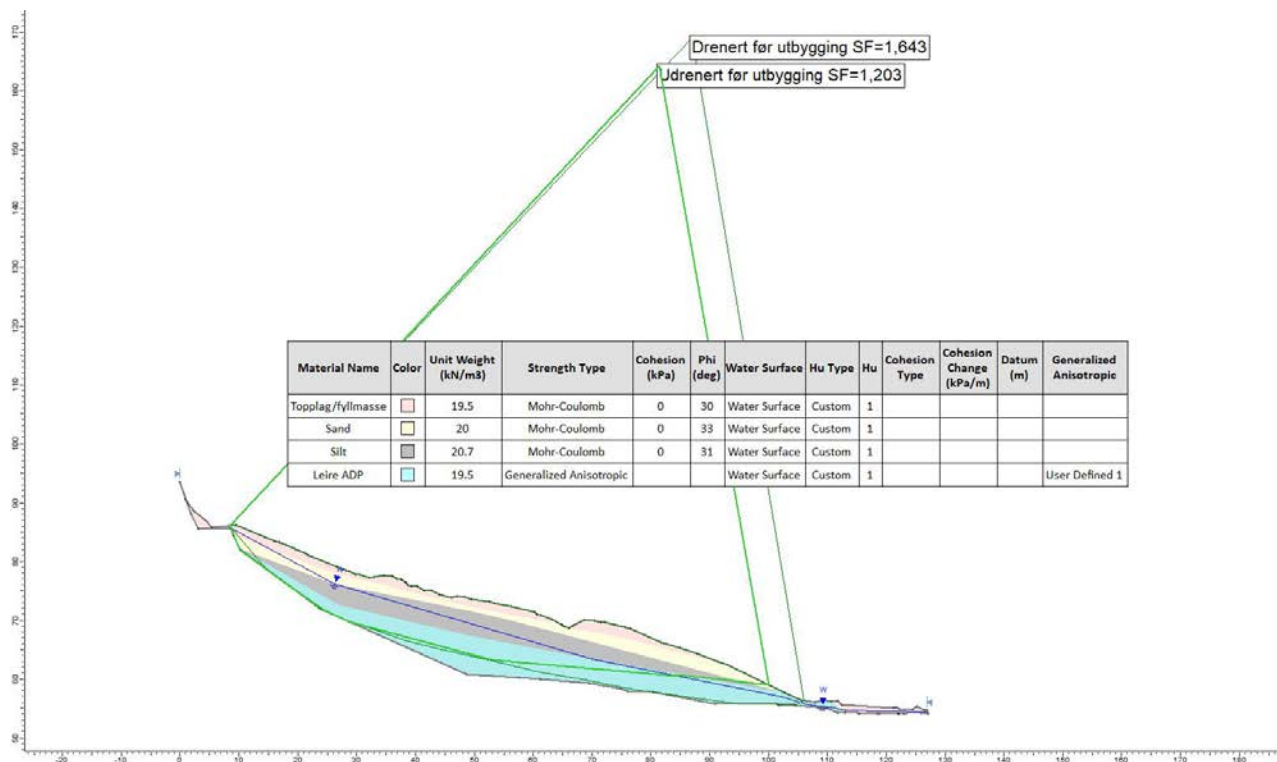
5.3.2 Hovedresultater fra SINTEFs stabilitetsanalyser

SINTEF har utført egne analyser av skråningsstabiliteten i anleggsområdet før anleggsarbeider ble igangsatt våren 2022, og etter skredet 4. mai (detaljer vist i Vedlegg 3). Analysene er utført med utgangspunkt i et profil langs hovedbanen for skredet 4. mai (profil EE i Figur 3-1), som Rambøll Norge AS utførte stabilitetsberegning på i forbindelse med vurdering av skråningsstabiliteten forut for gjenåpning av E6 etter skredet 4. mai [11].

SINTEF har benyttet samme lagdeling, terrengforhold og grunnvannsnivå som i Rambølls beregninger. SINTEFs analyse er utført i en programvare (SLIDE Ver.7.0.) som gir mulighet for å legge inn anisotrop styrkeprofil for udrenert leire, og som søker etter minste materialfaktor (sikkerhetsfaktor). I SINTEFs analyse er resultatene fra laboratorieforsøk på prøver fra borehullene R4005 og R4009 (Vedlegg 3) brukt for å finne et representativt skjærfasthetsprofil i leire i forhold til koteverdi. Resultatene fra totalsonderingene bekrefter at skjærfastheten er koteavhengig. I praksis gir dette en skjærfasthet for leire som er lav mot fjellskrenten i sør og øker mot nord i retning eksisterende E6 (for profilet for hovedbanen for skredet). Dybdeprofilet for direkte udrenert skjærfasthet er tolket som $c_{UD}=2.4 \cdot z$ hvor z er dybde regnet fra kote +82.4. For de øvrige involverte lagene har SINTEF brukt samme styrkeparametere som Rambøll har benyttet i sine analyser.

Skråningsstabilitet før anleggsarbeid

Resultatene fra stabilitetsberegningene før endringer i terrenget (Figur 5-2) viser at sikkerhetsfaktoren for langtidssituasjon (drenert) er 1,6, mens den for korttidssituasjon (udrenert) er 1,2. Dette betyr at sikkerhetsfaktoren for udrenert tilstand er lavere enn sikkerhetskravet på 1,5 for nøytralt brudd ved konsekvensklasse CC3, som gjelder for påhuggsområdet, (se kap. 4.4). Analysene er utført for et todimensjonalt (2D) profil og tar ikke hensyn til bidrag fra stabiliserende krefter ved skjærmotstand i sidekantene (sideskjær), som vil kunne gi noe høyere sikkerhetsfaktor. For å dokumentere effekten av skjærmotstand i sidekantene må analyser utføres med egnet tredimensjonalt (3D) program (f.eks. PLAXIS 3D). Effekten av sideskjær for en skråning vil øke sikkerhetsfaktoren med anslagsvis 10-14% i forhold til en 2D-analyse [51]. Oppsummert viser analysen med 2D-programmet SLIDE at stabiliteten i skråningen ikke tilfredstilte kravet til sikkerhet før anleggsarbeidet ble igangsatt våren 2022.



Figur 5-2. Resultater fra drenert og udrenert 2D-analyse i profil langs hovedbanen for skredet 4. mai 2022 før gravearbeid våren 2022 (SINTEFs beregninger).

Skråningsstabilitet før skredet 4. mai

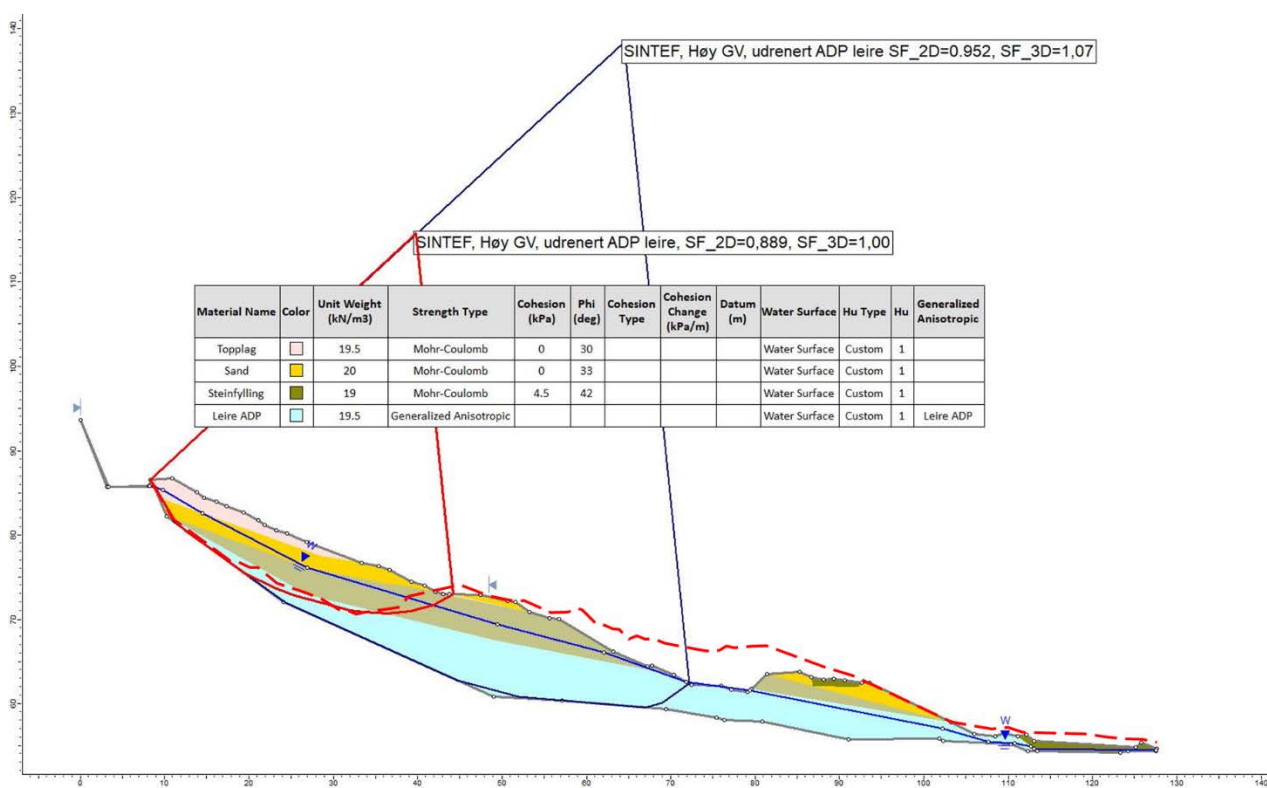
Etter skredhendelsen 20. april, ble det mandag 25. april 2022 utført en 3D-scanning av anleggsområdet for innmåling av terrenget. Terrenginnmålingen ble gjentatt etter skredet 4. mai, for å sammenligne topografien før og etter skredet, til bruk i Rambølls geotekniske vurderinger før gjenåpning av E6 [11]. Resultatene fra innmålingen er vist i 2D-profilen i Figur 5-3, der topografien før skredet er vist med rød heltrukket linje og topografien etter skredet er vist med rød stiplet linje.

SINTEF har benyttet profilen med terrenginnmåling før skredet som utgangspunkt for å beregne skråningsstabiliteten i dagene før skredet 4. mai, med udrenert (korttids) situasjon. Det er beregnet sikkerhetsfaktor for to ulike situasjoner; én for en kort skjærflate i øvre del av området, og én for en lang skjærflate som strekker seg fra bakkanten av skredgrova (i området nedenfor den opprinnelige turstien) og ned til utgravd område ved anleggsveien langs E6 (Figur 5-3). Beregningen for lang skjærflate er inkludert for å kunne vurdere stabiliteten i løsmasseskråningen før gravearbeidet startet i slutten av mars 2022.

Programmet SLIDE søker etter en skjærflate med lavest sikkerhetsfaktor. Den optimaliserte skjærflata med lavest sikkerhetsfaktor vil beregningsmessig vise løснеområdet for skredet. De utførte stabilitetsberegningene gir en sikkerhetsfaktor på 0,89 for den korte skjærflata og 0,95 for en skjærflate som strekker seg ned til foten av skråningen der de to anleggsveiene krysser hverandre. Det antas at 3D-effekt vil øke sikkerhetsfaktoren med 10-14 % (i snitt 12%) [51]. Dette vil gi en gjennomsnittlig sikkerhetsfaktor for kort og lang skjærflate på hhv. 1,0 og 1,06, som er betydelig lavere enn sikkerhetskravet og som i praksis indikerer labile grunnforhold (på grensen til brudd) i dagene før skredet 4. mai.

Skjærflate for skredet 4. mai

Skredet 4. mai resulterte i en lokal innsykning i skråningstopp og heving av terrenget i midtre og nedre deler av skråningen (se terrenginnmåling før og etter skredet i Figur 5-3). Denne utbredelsen av skredmasser indikerer en lokal skjærflate i øvre deler av løsmassekråningen, dvs. at skjærflaten ikke har involvert hele løsmasseskråningen ned mot området der det i månedsskiftet mars/april ble gravd for å finne fjell (i området der de to anleggsveiene krysset hverandre). Dette underbygges av at den kritiske skjærflaten funnet i SINTEFs analyser (heltrukken rød linje i Figur 5-3) viser god overenstemmelse med oppmåling av terreng etter skredet 4. mai (stiplet rød linje i Figur 5-3). Oppsummert viser stabilitetsanalysen og terrenginnmålingen at skredet har hatt løsnemåte øverst i skråningen med skjærflate som går ned i øvre del av leira og i øvre deler av løsmasseskråningen.



Figur 5-3. Resultater fra SINTEFs stabilitetsanalyser for udrenert leire i profil langs hovedbanen for skredet 4. mai, med topografi før og etter skredet. Kritisk skjærflate fra analyse er vist med heltrukken rød strek, og global skjærflate fra analyse er vist med svart heltrukken strek. Skredgropa og skredmassenes utbredelse i hovedbanen for skredet er vist med rød stiplet strek.

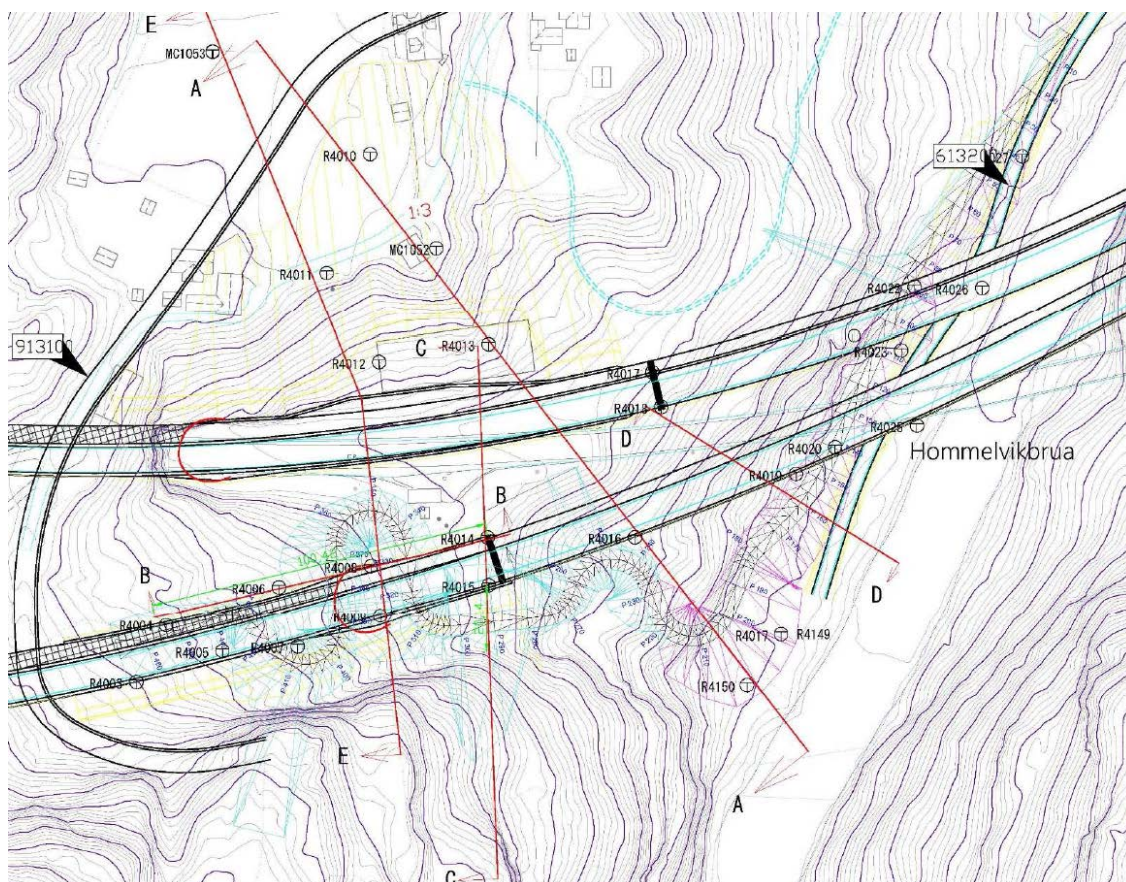
5.3.3 Prosjektering og stabilitetsanalyse av midlertidig anleggsvei

Før anleggsarbeidet ble igangsatt, fikk totalentreprenør utført en geoteknisk vurdering av stabiliteten for anleggsveien som skulle etableres for å gjennomføre gravearbeidet [45]. Anleggsveien var prosjektert under Homla bru og videre opp i påhuggsområdet (Figur 5-4). Dette medfører at lavereliggende deler av anleggsveien er i geoteknisk kategori 2 og CC2/RC2, mens den øverste delen av anleggsveien er i geoteknisk kategori 3 og CC3/RC3. I notatet [45] er hele den midlertidige anleggsveien plassert i geoteknisk kategori 2, og i konsekvens- og pålitelighetsklasse 2

(CC2/RC2), mens det er oppgitt krav til sikkerhetsfaktor for både sprøbruddmateriale og for nøytralt brudd for både konsekvensklasse 2 og 3.

Stabilitetsvurderingen inkluderte stabilitetsberegninger i flere profil (merket med AA, BB, CC og EE, se Figur 5-4), hvorav profil BB og EE er av relevans for den delen av anleggsveien som var prosjektert i påhuggsområdet.

Anleggsveien var prosjektert med svinger sentralt opp gjennom påhuggsområdet, med skjæringer i løsmassene. Disse skjæringene hadde helning brattere enn 1:3. Øverste del av anleggsveien ble til slutt etablert i rett linje innunder fjellskrenten i sør, dvs. sør for opprinnelig prosjektert bane for anleggsveien. Granskingsgruppen er ikke kjent med at det er utført stabilitetsberegninger av anleggsveien slik den ble anlagt i skredområdet.



Figur 5-4. Oversikt over grunnundersøkelser og stabilitetssnitt for planlagt anleggsvei (vist med fiskebeinsmønster) [45].

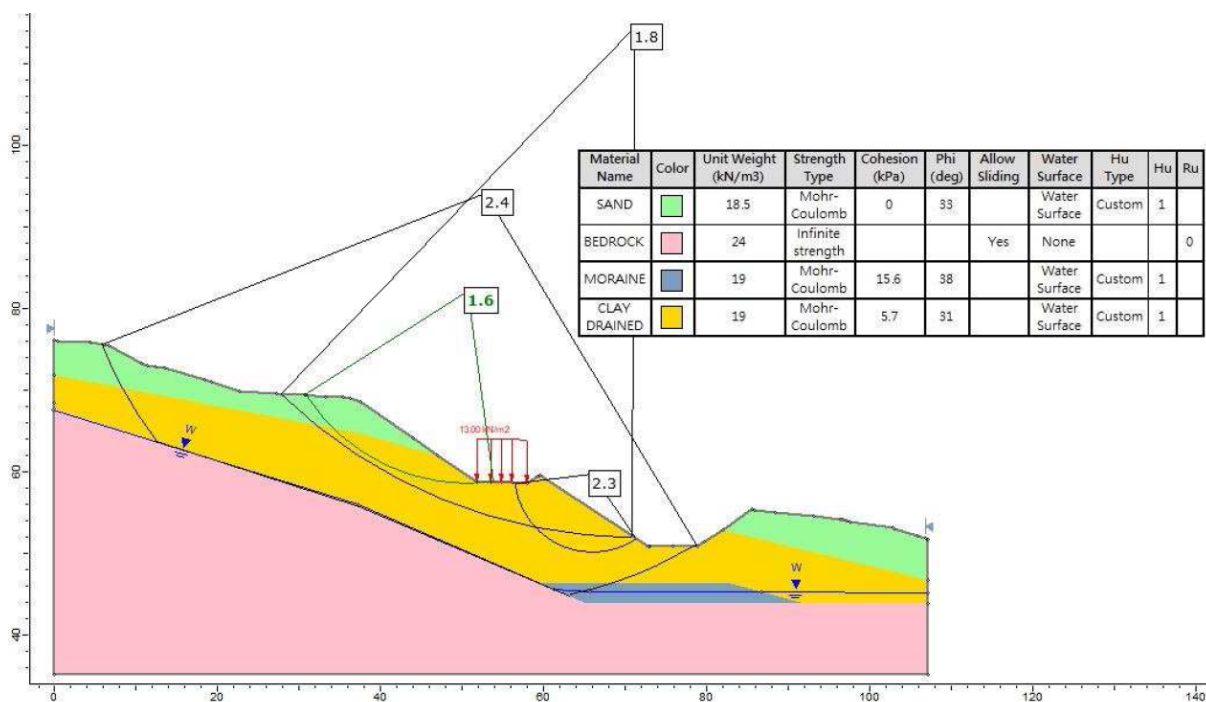
Stabilitetsanalysen for profil BB er vist Figur 5-5. Totalentreprenørens stabilitetsanalyse for snitt BB ga en minste sikkerhetsfaktor på 1,5 for både udrenert og drenert situasjon av leira [45]. Det var ikke registrert sprøbruddmateriale i anleggsområdet på sørsiden for av E6. Kravet til sikkerhetsfaktor for nøytralt brudd er 1,4 for CC2 og 1,5 for CC3, dvs. at den beregnede sikkerhetsfaktoren lå innenfor kravene for nøytralt brudd. Den beregnede sikkerhetsfaktoren var imidlertid for høy. Dette kommenteres nærmere i det følgende.

I analysen utført av totalentreprenøren er det benyttet samme skjærfasthetsprofil (c_u) for leirlaget i hele skråningen. Dette betyr at det ikke er tatt hensyn til variasjoner i skjærfasthet (styrken i leira) ved ulike koter i terrengprofilen. Både totalsondering og prøvetaking [29] viser imidlertid at det er

lavere skjærfasthet i øvre deler av profilet enn i nedre. I skrånende terreng kan denne uriktigheten føre til et unøyaktig bilde av kritisk skjærflate, som kommer til uttrykk ved for høy verdi av beregnet sikkerhetsfaktor for en udrenert situasjon i leire.

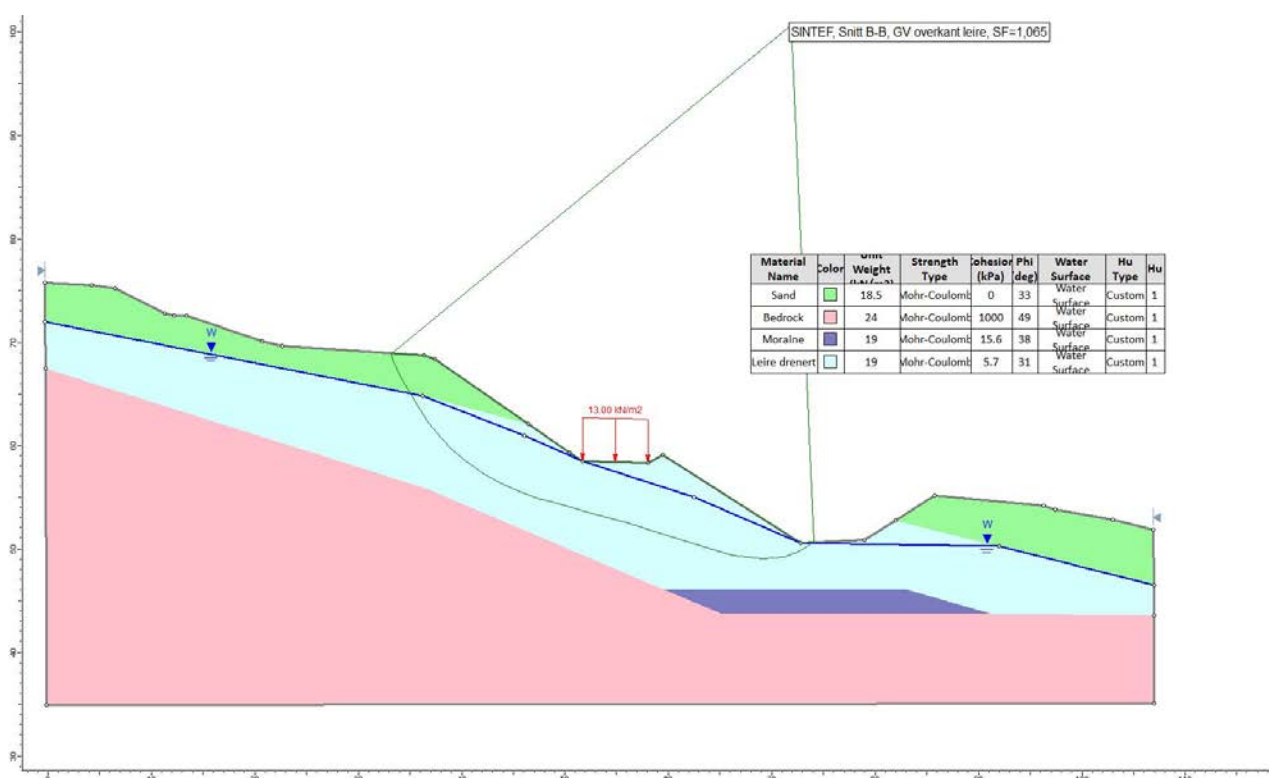
Stabilitetsanalyser som totalentreprenør fikk utført for en drenert situasjon i leire i snitt BB er vist i Figur 5-5. Grunnvannsnivået er her plassert under leira, i flukt med fjellgrunnens overflate. Dette anses av SINTEF som en svært lite sannsynlig beliggenhet for grunnvannsnivået. Dette begrunnes med at leire har lav permeabilitet, noe som medfører at den responderer tregt på eksterne endringer i vannsituasjonen og at porevolumet er fylt med vann uten at vannet dreneres ut. Over leira er det i påhuggsområdet påvist mer permeable løsmasser som silt og sand. Disse massene responderer hurtigere på endringer i vanntilsig. Det er etter SINTEFs vurdering derfor mer sannsynlig at grunnvannstanden som et minimum ligger i overgangen mellom silt og leire. Dette underbygges av registrert grunnvannsstand ved Nesbakken, nord for dagens E6, der grunnvannsnivået er påvist over leira i overgangen mot sand. Så vidt SINTEF kjenner til, er det ikke utført grunnvannsundersøkelser i påhuggsområdet sør for E6. Grunnvann følger som regel fluktuasjonene i terrengflaten og ligger gjerne nærmere terrengoverflaten (relativt sett) i forsenkninger i terrenget enn på koller og høyder. Det er observert bløt grunn i påhuggsområdet, og det er flere nedsenkninger (svakhetssoner) i terrenget rundt som kan bidra til tilsig av vann fra høyereliggende områder. Oppsummert mener SINTEF at grunnvannsnivået er lagt for lavt i beregningsprofilene for stabilitetsanalysen som totalentreprenøren fikk utført.

Grunnvannsnivået er plassert noen meter under topp leire i profil EE (ikke vist her). Grunnvannsnivået er i dette profilet seks meter høyere enn nivået i profil BB – i punktet der profilene krysser hverandre. Dette innebærer at grunnvannet er lagt i ulike nivå i ett og samme punkt.



Figur 5-5. Profil BB, global og lokal stabilitet, for drenert situasjon i leire med grunnvannstand i overgang leire/fjell [45]. I beregningene som totalentreprenøren har fått utført, er det benyttet nominell trafikkbelastning på 10 kN/m² og en lastfaktor 1,3 som gir dimensjonerende trafikklast 13 kN/m².

SINTEF har utført stabilitetsberegning for samme profil (profil BB) som totalentreprenøren benyttet i sine beregninger i Figur 5-5 . I SINTEFs analyse er grunnvannstanden lagt i overkant av leira (Figur 5-6). Det er ellers benyttet samme materialparametere og geometri som i analysen totalentreprenøren fikk utført. Ved å heve grunnvannstanden til et mer realistisk nivå etter SINTEFs skjønn, gir denne beregningen en sikkerhetsfaktor på 1,07 (nært brudd), som er under kravet til sikkerhetsfaktor (1,5). Dette viser at stabiliteten i anleggsområdet ikke var tilstrekkelig sikker for den midlertidige anleggsveien.



Figur 5-6. Profil BB, SINTEFs analyse av sikkerhetsfaktor med SLIDE for drenert situasjon i leire med grunnvannstand (GV) i overkant av leire (SINTEF 2022).

5.3.4 Oppsummering – hva forteller stabilitetsanalysene?

SINTEFs beregninger viser at det var lav stabilitet i løsmasseskråningen før anleggsarbeidet startet opp våren 2022. Sikkerhetsfaktoren for udrenert situasjon ($F = 1,2$) var lavere enn kravet til sikkerhetsfaktor for konsekvensklasse 3 og geoteknisk kategori 3.

Etter terrengingrepene som ble utført i etterkant av skredene 15. og 20. april, var grunnen på grensen til brudd (labil) ($F = 0,9 - 1,0$). Estimert sikkerhetsfaktor kan være noe konservativ ettersom det ikke er tatt hensyn til tredimensjonale effekter av skjærkrefter langs sidene (sideskjær) ved det beregnede profilet. Analysene viser at selv med en oppjustering av sikkerhetsfaktoren på 10-14 % for å dekke opp for sideskjær, balanserte skråningen tett på brudd (oppjustert $F = 1,0-1,1$).

Stabilitetsberegningene som totalentreprenøren fikk utført i forbindelse med prosjektering av anleggsveien ga for høy sikkerhetsfaktor fordi grunnvannsnivået var plassert for lavt. Dette, sammen med fravær av øvrige stabilitetsberegninger og risikoanalyse med hensyn på skred, kan ha

bidratt til at de involverte aktørenes situasjonsforståelse ikke var i overensstemmelse med de faktiske forholdene.

5.4 Skredårsak – utløsende mekanismer

De naturgitte forholdene omtalt i kap. 5.2 kan gjøre løsmasseskråninger ekstra sårbare for skred dersom skrånningen i tillegg utsettes for påført last fra menneskelige aktiviteter (massedeposering, anleggsmaskiner, etablering av konstruksjoner/bygg mm.), eller utsettes for erosjon eller terrenginngrep (graving, fjerning av vegetasjon) som reduserer stabiliteten i grunnen. I det følgende gis en samlet vurdering av naturgitte forhold som kan ha bidratt til lav stabilitet i løsmassene og andre faktorer som kan ha svekket stabiliteten i grunnen.

Skredet 15. april (skred 1)

I mars 2022 hadde totalentreprenøren etablert en anleggsvei langs fjellskjæringen sør i anleggsområdet. Anleggsveien ble anlagt ved at massen i topp (ca. 0,5 meter) ble gravd vekk, og det ble lagt ut en kjørebane med sprengstein og grus (ca. 1 meter) slik at tunge kjøretøy kunne bruke veien.

I området ved øvre deler av anleggsveien lå et tynt lag med sand over silt. I kuldeperioder vil frosten gå rett gjennom den åpne strukturen i sanda, og ned i silten. Tele dannes når vann i silten fryser til is. Telen virker stabiliserende på massene, ved at den både bidrar til å styrke de bindende kreftene i kornskjellettet, og ved at den fungerer som en impermeabel barriere mot vanngjennomtrengning gjennom silten. Lange perioder med kaldt vær etter årsskiftet 2021/2022, sannsynliggjør at det fortsatt var tele i grunnen da anleggsveien ble bygd. I løpet av sen vinteren var det registrert kortere perioder med varmere dagtemperaturer (Figur 4-15), men det var trolig ikke høy nok temperatur til at telen tinte. I dagene forut for skredet steg temperaturen, og kombinert med regn har dette trolig ført til teleløsning i de siltige løsmassene i topplaget. Teleløsning og bratt skråningsvinkel var sammen med vekten fra massene i anleggsveien trolig nok til at et grunt skred (utglidning) ble utløst 15. april. Utglidningen omfattet ca. 15-20 m³ løsmasser, hovedsakelig silt.

Skred 1 ble utløst på grunn av en kombinasjon av: i) teleløsning og ii) påført last fra masser i anleggsveien.

Skredet 20. april (skred 2)

Denne dagen foregikk det arbeid med vedlikehold og forsterkning av anleggsveien oppover langs fjellskrenten i sør. Gravemaskinen skulle fylle igjen skredgropa etter skredet 15. april da et nytt skred ble utløst. Dette skredet var større i omfang og gikk dypere i løsmassene (dypere skjærflate), og medførte at anleggsmaskinen falt flere meter ned i terrenget (Figur 2-5). Gravemaskinen befant seg i nedre del av løsneområdet for skredet langs anleggsveien, og store deler av skredmassene hadde passert gravemaskinen før denne falt ned i skredgropa (Figur 2-5). Selve gravearbeidet var derfor ikke utløsende årsak til dette skredet.

Som tidligere nevnt, var det flere tilførselskanaler for vann inn mot løsmassene i anleggsområdet, via svakhetssoner i fjellgrunnen (Figur 4-8) og fra nedbørsfeltet generelt. Siste rest av snøen smeltet medio april da det ble varmere vær, samtidig med at det kom nedbør i form av regn. I perioden 15.-20. april var det ingen nedbør, men middeltemperaturen hadde økt fra 5°C til 10°C. Dette førte trolig til ytterligere teleløsning i grunnen, og til at løsmassene (sand og silt) over leira i anleggsområdet ble oppbløtt ved at is gikk over til vann. I tillegg bidro teleløsningen til at

løsmassene ble mottakelige for opptak av vann fra snøsmelting og nedbør. Dette kan ha ført til en temporær heving av grunnvannstanden (økt poretrykk) og en økning i vekten av løsmassene. Teeløsning kombinert med nedbør og snøsmelting har dermed trolig bidratt til økt vanntilførsel til området.

Det var lagt en drengroft fra området ved overgangen mellom turstien og fjellskrenten og nordover, som skulle avskjære vann fra løsmassekråningen. Ettersom grøfta på dette tidspunktet ikke var ferdigstilt og ikke gravd dypt nok, fungerte den trolig ikke som tiltenkt, og vann kom inn i grunnen i løsmasseskråningen.

Stabilitetsanalysene i kap. 5.3.2 (Figur 5-2) viser at stabiliteten var lav i løsmasseskråningen allerede før anleggsarbeidet startet opp våren 2022 ($F_{udrenert} = 1,2$). Sammen med vekten av massene i anleggsveien var de naturgitte faktorene (økt teeløsning, snøsmelting og nedbør fra nedbørsfeltet) nok til at skredet ble utløst.

Skredet tok med seg silt- og sandmasser helt ned mot overgangen til leire. Årsaken til at skredet 20. april ble større enn utglidningen 15. april, er trolig økt teeløsning og økt vanntilførsel i dagene etter utglidningen 15. april. Det er estimert at skredet 20. april omfattet 200-250 m³ løsmasser.

Skred 2 ble utløst på grunn av en kombinasjon av: i) økt teeløsning, ii) økt vanntilførsel fra snøsmelting og regn, som til sammen ga høyere grunnvannstand i andre halvdel av april, og iii) påført last fra masser i anleggsveien.

Skraningsstabiliteten ble ikke tilstrekkelig vurdert etter skred 2 før videre anleggsarbeid i området.

Skredet 4. mai (skred 3)

Analysene viser at skredet 4. mai 2022 ble utløst i øvre del av området, og at skredet var skålformet. Skredmassene raste nedover skråningen, og hadde tyngde og fart nok til å gli over anleggsveien i nord og utover E6. Anleggsveien langs E6 var bygd opp av sprengstein og lå på fjell. Denne forble intakt under skredmassene, og forhindret at en større del av skredmassene traff E6. Anleggsveien fungerte dermed som et konsekvensreducerende tiltak.

Tidligere var det bestemt at turstien skulle vernes, og at gravearbeidet skulle utføres fram til stien. Fordi dybden til fjell var dypere enn opprinnelig antatt, ble det besluttet at masser fra området ovenfor turstien også måtte tas ut for å oppnå minstekravet til helningsgrad i løsmasseskråningen. På skreddagen ble derfor masser fra den gamle fyllingen øverst ved turstien flyttet nedover i skråningen.

Bildet til høyre i Figur 5-7 sannsynliggjør at høyden på terrenget ble økt med 1-1,5 meter i området der masse fra denne fyllingen ble lagt. Fyllmassene som ble gravd ut ble mellomlagret oppå terreng i området der leiren kiles ut opp mot fjellskrenten.

Stabiliteten i grunnen var allerede før gravingen på grensen til brudd (labil) (se kap. 5.3.2), på grunn av type og lagdeling i løsmassene og høy grunnvannstand som følge av nedbør og snøsmelting. Den ekstra lasten fra anleggsmaskinen og fra massene som ble mellomlagret var dermed nok til at skredet ble utløst.

Skred 3 ble utløst på grunn av en kombinasjon av: i) labil grunn som følge av høy grunnvannstand, ii) påført last fra fyllmassene og iii) lasten fra gravemaskinen.



Figur 5-7. Bilder tatt på formiddagen 4. mai (Foto Br. Bjerkli AS). UE graver ned topp av skråning og bulldoser flytter masse mot annen gravemaskin som laster på dumper som kjører masse ut av området.

Forhold som ikke har utløst skredet:

Sprengning i nytt tvillingløp

Forut for skredet 4. mai lå anleggsområdet i ro (uten terrenginngrep) i ca. 14 dager. Kl. 09:45 ble det sprengt i tunnel for nytt tvillingløp. Denne sprengningen foregikk i en avstand på ca. 270 meter fra skredområdet, og to personer i anleggsområdet kjente rystelser fra denne sprengningen. Rystelsesmålinger fra sprengningen viser at målte vibrasjoner i alle målepunkter var under grenseverdien som var satt opp for skadelige rystelser for bygninger i en avstand på 50-400 meter unna de respektive sprengsalvene. NOU 2022:3 "På trygg grunn" [52] oppsummerer resultater fra temaet «Dynamiske påkjenninger og skredfare» i et NIFS-prosjekt [53], for vurdering av innvirkning fra rystelser som utløsende årsak til skred. Rapportene viser til at mennesker er følsomme for vibrasjoner, og merker vibrasjoner i bakken og i boliger lenge før vibrasjonene har betydning for utløsning av skred eller for skade på bygninger. Utløsning av skred krever sterkere vibrasjoner enn de som kan gi skade på bygninger. SINTEF anser det derfor som lite sannsynlig at sprengningen kan ha bidratt til at skredet ble utløst.

Planering etter skredet 20. april

For å øke stabiliteten etter skredet 20. april, ble anleggsveien planert ned og massene ble fylt ut i skredgropa. Noe av skredmassene i nedre deler ble ikke fjernet, på grunn av vanskelig adkomst (Figur 2-6). Dette hadde ikke betydning for skredet 4. mai.

Utgraving i foten av skråningen

Dette arbeidet startet i slutten av mars med hensikt å finne underliggende fjelloverflate og beslutte hvor skråningen med helning 1(H):3(L) skulle begynne (se Figur 2-1 til Figur 2-3). Denne gravingen resulterte i en graveskråning med helning 1(H):2(L), dvs. brattere enn det som var angitt i Method Statement for leire/silt.

Reduksjon av stabilitet i en skråning påvirkes hovedsakelig av to forhold; i) pålast øverst i en skråning og ii) erosjon og/eller graving i bunnen av en skråning. Graving som ble utført i bunnen av skråningen reduserte stabiliteten for hele skråningen (vist ved lavere sikkerhetsfaktor etter graving i skråningsfoten, se $F_{udrenert}$ i Figur 5-3, sammenlignet med før anleggsarbeidet startet opp våren 2022, se $F_{udrenert}$ i Figur 5-2). Sprekker i den utgravde skråningen var en indikasjon på deformasjoner. Det blottlagte gruslaget mellom leire og morene fungerte som en drenasjevei for vann under leire i den nedre del av skråningen (gruslaget var kun funnet i borepunktene R4008 og R4009). Det er derfor sannsynlig at den nedre del av leira i dette området hadde en høyere skjærfasthet i overgangen mot grus, på grunn av drenering av vann mot dette grove laget. Skjærfasthetsprofilen tolket av SINTEF viser også at skjærfastheten er høyere nederst i skråningen enn øverst i skråningen. Lokalt høyere skjærfasthet var trolig årsaken til at det ikke skjedde globale utglidninger/skred i den utgravde skråningen. Faren for et globalt skred økte imidlertid ved at utgravingen i foten ble utført.

SINTEF har ved sine analyser funnet at sikkerheten for et brudd som involverer hele løsmasseskråningen, (globalt brudd) ble redusert til en labil situasjon ($F < 1.1$, se Figur 5-3) etter utgravingen i månedsskiftet mars/april. Den øvre delen av løsmasseskråningen var brattere enn resten av skråningen, og som vist i Figur 5-3 var stabiliteten av den øvre delen av skråningen marginalt dårligere enn stabiliteten for hele skråningen. Stabilitetsanalysen viser også at skredet har hatt løsneområde øverst i skråningen, dvs. ikke ned til det utgravde området i foten av skråningen. I sum kan det derfor konkluderes med at utgravingen i foten av skråningen ikke var den direkte årsaken til skredet 4. mai, men at gravingen medførte lavere global sikkerhet.

5.5 Tekniske og fysiske barrierer

En barrierefunksjon er "*evnen en barriere har til å gripe inn i et hendelsesforløp for å eliminere eller redusere tap*" [54]. I dette avsnittet omhandles tekniske og fysiske barrierer som ble planlagt og utført knyttet til masseuttak fra løsmasseskråningen, med fokus på tiltak som ble planlagt og utført for å unngå skred. Bakenforliggende forhold omhandles i kapittel 6.

Grunnleggende barrierestrategier er rettet mot å i) fjerne eller redusere en fare, ii) etablere fysiske barrierer eller barrierer som skiller fare og objektet i tid og rom, og iii) etablere barrierer som retter seg mot å redusere skaden [54] [55]. I det følgende omtales aktuelle planlagte og utførte barrierer ut fra disse barrierestrategiene. Et sentralt spørsmål i barriereanalysen er å vurdere hvor hendelsesforløpet kunne vært endret eller avbrutt.

For å kunne iverksette tiltak mot uønskede hendelser, må farer som kan føre til uønskede hendelser og ulykkessituasjoner kartlegges, identifiseres og risikovurderes. Risikovurderinger utgjør grunnlaget for å kunne ta beslutninger om hvilke barrierer som må iverksettes for å få kontroll på farer. Skredfaren i løsmasseskråningen var ikke identifisert før anleggsarbeidet startet opp, og hadde ikke vært gjenstand for risikoanalyse med vurdering av sannsynlighet for skred eller konsekvenser av skred i forkant av oppstart av anleggsarbeidet. Informasjonen som lå til grunn for å vurdere hvilke barrierer som burde implementeres for å kunne gjennomføre et sikkert arbeid med å ta ut løsmasser fra påhuggsområdet var dermed mangelfull. Dette forholdet kommenteres nærmere i kap. 6.1. I det følgende gis en kort beskrivelse og vurdering av sentrale barrierer.

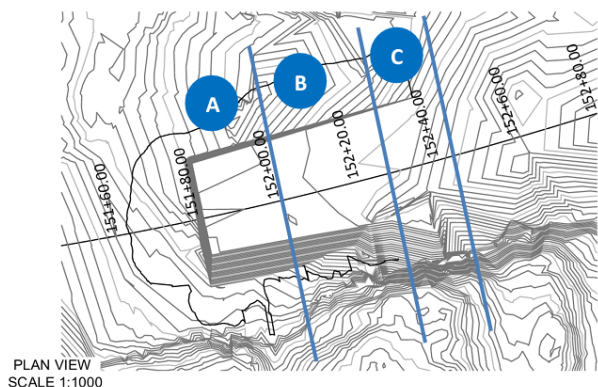
Dreneringstiltak for å hindre oppbygging av poretrykk i finkornige masser. For å redusere tilførselen av vann til anleggsområdet, ble det våren 2022 etablert en drengroft i øvre deler av skråningen, i overgangen mellom turstien og anleggsområdet. Dette tiltaket antas å ha hatt en

begrenset avskjærende effekt mot vanntilførsel, da det ikke fanget opp vann som kan ha kommet inn i området fra svakhetszone 3 i sør og fra svakhetszone 2 i vest (Figur 4-13). Da gravearbeidet startet opp ultimo mars 2022 var ikke inntaket for drensledningen gravd dypt nok (til fjell), noe som kan ha bidratt til tilsig av vann langs fjelloverflaten og inn til grunnen i anleggsområdet via området fra svakhetszone 1 (Figur 4-13). Det ble også etablert et opplegg (drensrør og pumpe) for å lede vann som kom inn i det utgravde området nederst i skråningen, ut fra anleggsområdet. Bilder fra 15-20. april (Figur 2-2 og Figur 2-3) viser at det står en del vann i det utgravde området, noe som indikerer at løsningen ikke fungerte godt og som tiltenkt.

Maksimal helning i løsmasseskråninger på 1(H):3(L). Som et teknisk tiltak for å ivareta stabilitet i løsmasseskjæringer, stiller Statens vegvesens håndbok N200 krav om en maksimal helning i skjærings- og fyllingsskråninger i løsmasser på 1(H):3(L) for leire og for tørr finsand eller silt. Denne anbefalingen er tatt inn i detaljprosjektering av tunnelpåhugget [16] og i totalentreprenørens Method Statement [56] som førende for maksimal helningsvinkel på løsmasseskjæringen ved arbeidet med å klargjøre området for nytt tunnelpåhugg.

Som et sikringstiltak mot skred, og for å oppnå helning slakere enn 1(H):3(L), var det planlagt at gravearbeidet skulle starte med å *senke terrenget på toppen av løsmasseskråningen* ved "mekaniske metoder (gravemaskin og lastebil)" i område A i Figur 5-8, til fjellgrunnen ble nådd [56]. Deretter skulle gravearbeidet suksessivt flytte seg nedover i skråningen.

Ettersom det pågikk rensk i fjellskrenten i sør, besluttet totalentreprenøren å starte gravearbeidet sentralt i skråningen, i delområde B i Figur 5-8. Dette var et avvik fra opprinnelig plan. Gravingen utløste likevel ikke noe skred, fordi leira i denne delen av skråningen hadde høyere skjærfasthet enn lengre opp i skråningen. I tillegg var det drenering ut i graveskråningen gjennom et grovere lag mellom leire og morene.



- Area A: from chainage 15+175 to 15+200 (approx.)
- Area B: from chainage 15+200 to 15+220 (approx.)
- Area C: from chainage 15+220 to 15+245 (approx.)

Figur 5-8. Planlagt rekkefølge for utgraving av løsmasser fra område A til C [56].

Graving i foten av skråningen resulterte lokalt i at helningsvinkelen for graveskråningen ble brattere enn 1:3. Dette medførte imidlertid ikke at det ble gjennomført noen ny vurdering av skråningsstabiliteten eller vurdering av profil opp mot sikkerhetstiltak. Som tidligere nevnt hadde denne gravingen likevel ingen direkte innvirkning på at skredene ble utløst.

En av faktorene som bidro til å utløse skredet 4. mai var at det ble mellomlagret fyllmasser oppå terrenget i løsmasseskråningen, i området der leiren kiles ut opp mot fjellskrenten. Dersom massene

hadde blitt gravd ut i etapper med mellomlagring ovenfor turstien, og i volum synkronisert med mengdene som doseren kunne håndtere, ville belastningen på selve løsmasseskråningen ha vært lavere. Denne barrieren ble imidlertid ikke implementert, ettersom det ikke eksisterte kunnskap om grunnens lave stabilitet.

Risikoreduserende tiltak etter skred. Etter det første skredet 15. april, valgte totalentreprenøren å iverksette tre risikoreduserende fysiske tiltak: to tiltak (ferdigstille drenggrøft og redusere høyde på skråningstopp) skulle bidra til å forebygge flere skred, mens det tredje tiltaket (øke høyden på anleggsvei mot E6) skulle bidra til å fange opp masser ved eventuelle nye skred (redusere konsekvensen). Sistnevnte tiltak ble iverksatt påfølgende dag (påskeaften 16. april), mens de to første tiltakene skulle gjennomføres etter påskeferien. Skredet 20. april skjedde mens underentreprenør graving jobbet med å ta ned skråningshøyden og gjenopprette stabiliteten etter skredet 15. april. Arbeidet med å ferdigstille drenggrøften oppstrøms anleggsområdet ble ikke påvirket av skredet, og ble ferdigstilt i denne perioden.

Det tredje tiltaket som ble iverksatt etter skredene 15. og 20. april var å *øke høyden på anleggsveien mot E6* med én meter. Målet med tiltaket var å hindre masser ved eventuelle nye skred fra å nå E6. Tiltaket fungerte delvis med å stanse skredmasser i skredbanen mot E6. Barrieren var ikke tilstrekkelig dimensjonert til å forhindre at skredmasser havnet på veibanen, men bidro til å redusere omfanget og konsekvensene av skredet.

Tabell 5-2. Oppsummering av barrierer, barrierefunksjon og effekt.

Barrierer/barrieresvikt	Barrierefunksjon	Effekt
Dreneringstiltak for å hindre oppbygging av poretrykk i finkornige masser	Sannsynlighetsreduserende/hindre tap av kontroll	Hadde en viss effekt, men ikke tilstrekkelig.
Ivareta maksimal helning på skråning på 1(H):3(L)	Sannsynlighetsreduserende/hindre tap av kontroll	Helning på 1(H):3(L) ville redusert skredfaren.
Senke terrenget på toppen av skråningen	Sannsynlighetsreduserende/hindre tap av kontroll	Målet var å redusere skredfaren, men mellomlagring av fyllmasser bidro til å utløse skredet.
Øke høyden på anleggsveien mot E6	Konsekvensreduserende/Skille gjennom fysiske barrierer	Hadde en viss konsekvensreduserende effekt.

6 Bakenforliggende årsaker til skredet

De fleste ulykker skyldes en kombinasjon av menneskelige, tekniske og organisatoriske forhold. Direkte og tekniske årsaker til ulykker er ofte knyttet til bakenforliggende, mer systemiske faktorer. Analyse av bakenforliggende årsaker er viktig fordi tiltak rettet mot bakenforliggende årsaker er de mest effektive for læring og forebygging av nye ulykker. Bakenforliggende årsaker ligger lengre ut i årsakskjeden enn direkte/tekniske årsaker, og analysen av bakenforliggende forhold er derfor i større grad basert på vurderinger av informasjon fremkommet i intervjuer, i tillegg til det øvrige datamaterialet.

Analysen er utført innenfor et rammeverk av fem overordnede dimensjoner (jf. Pentagon-modellen omtalt i kap. 1.5): teknologi, organisasjonsstruktur, kultur, interaksjon og samhandling mellom aktører, samt sosiale relasjoner. Innenfor dette rammeverket anses følgende organisatoriske forhold som mest sentrale i denne granskingen:

- Risikostyring
- Geologisk og geoteknisk kompetanse og ressurser
- Rapportering og oppfølging av uønskede hendelser
- Kommunikasjon og samhandling
- Byggherrens styring, oppfølging og kontroll

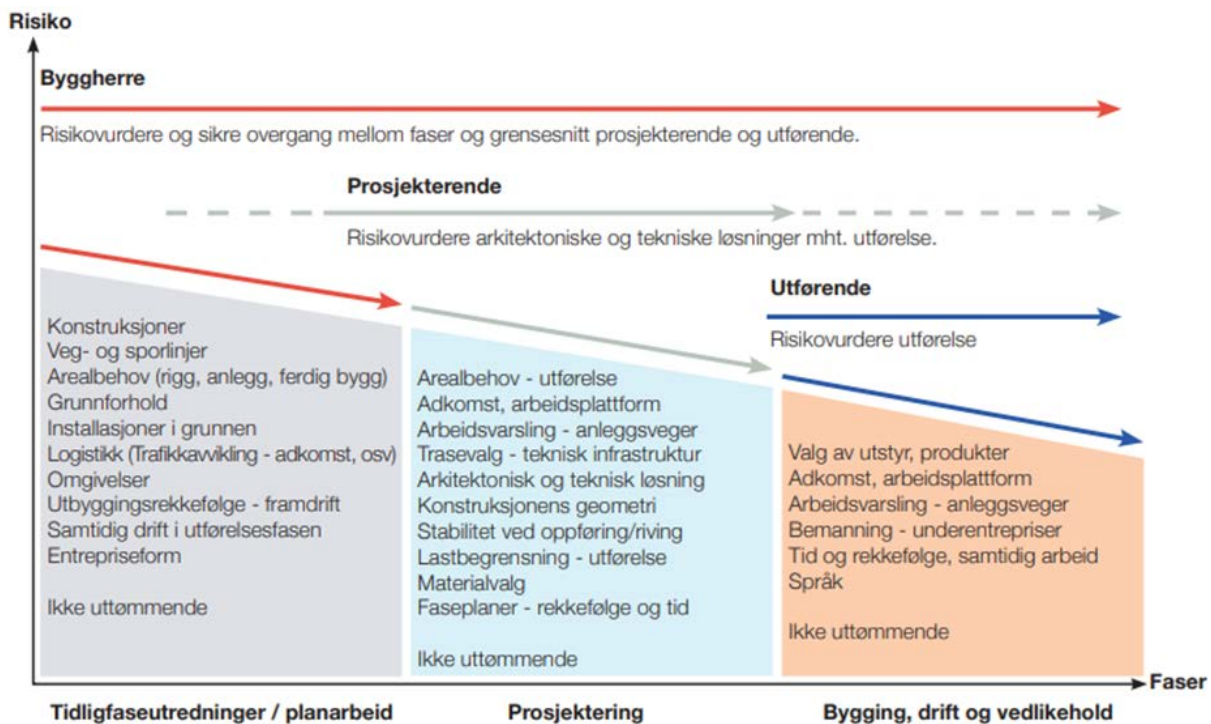
6.1 Risikostyring

6.1.1 Innledning

Risikostyring er koordinerte aktiviteter for å styre og kontrollere en organisasjon med hensyn til risiko [57]. Grunnleggende elementer i risikostyring er [41]:

1. Kartlegge farer
2. Vurdere risiko
3. Utarbeide planer og tiltak for å redusere risiko

Et viktig prinsipp i byggherreforskriften for ivaretagelse av sikkerhet, helse og arbeidsmiljø er at alle aktørene i et bygge- eller anleggsprosjekt skal ta ansvar for den risiko de bringer inn i prosjektet som følge av sine valg av løsninger [58]. Det er essensielt å sikre samhandling mellom de ulike aktørene for å sikre at informasjon om risikoforhold som blir avdekket og vurdert i tidlige faser, blir videreført og gjort kjent for andre aktører i kommende faser. Figur 6-1 illustrerer ansvaret for risiko og sikkerhet, helse og arbeidsmiljø i de ulike fasene i et prosjekt. I en totalentreprise som E6RV har totalentreprenøren ansvaret for detaljprosjektering og utførelse i utførelsesfasen.



Figur 6-1. Vurdering av sikkerhet, helse og arbeidsmiljø i alle faser (eksempler på faktorer) [58].

Totalentreprenøren har beskrevet hvordan risikostyringen skal foregå i prosjektet E6RV i *OH&S* (arbeidsmiljø, helse og sikkerhet) *Management Plan* [59]:

"Risk assessments will be performed and risk managed throughout the project. The risk management process is in accordance with ISO 31000 and covers the process steps: establishing the context, risk identification, risk analysis, risk evaluation and risk treatment as well as monitoring and review and communication and consultation. Risk Assessment and Safety Job Analysis (SJA) that are identified in the plan will be integrated into the schedules prior to the activities and all the evaluations will be presented for review. When changes occur in the schedule, the risk will be evaluated before the start of activities. Where risks cannot be eliminated, mitigation measures will be implemented to reduce the risk to a level as low as reasonably practicable (ALARP)".

Videre står det om ulike operasjoner:

"Conduct risk assessments and Method Statement in consultation with relevant actors for activities involving underground works. The Local Standard, Client Specification and the current OH&S Management Plan shall be considered and applicable".

Sentrale spørsmål i forbindelse med den spesifikke hendelsen 4. mai 2022 blir da:

1. I hvilken grad var faren for skred identifisert?
2. Hvordan var risikoen for skred vurdert?
3. Hvilke planer og tiltak var eventuelt utarbeidet og iverksatt for å redusere risiko? (sannsynlighetsreduserende og konsekvensreduserende tiltak)

6.1.2 Kartlegging av fare for skred

Kap. 4.5.2 gir en oversikt over farekartlegging og risikoanalyser som er utført for det aktuelle anleggsområdet i E6RV. I reguleringsfasen er det utført overordnet ROS-analyse for veitrasé for ny E6, mens risiko i anleggsfasen "*forutsettes ivaretatt gjennom detaljprosjekteringen, SHA-plan og gjeldende lover og forskrifter*" [42].

Det er utført geofare- og skredfarevurderinger for ny E6 både i regulerings- og prosjekteringsfasen. E6RV var opprinnelig planlagt med fartsgrense 100 km/t. Etter oppjustering av fartsgrensen ble det utarbeidet nye ingeniørgeologiske rapporter, inklusive rapport med vurdering av fare for blokknedfall fra bergskjæring for justert trasé, samt vurderinger av risiko for skred og steinsprang for dagsonene [13]. Skredfarevurderingene er utført med utgangspunkt i NVEs aktsomhetskart for skred, som viser sannsynlig utløpsområde for jord- og flomskred. Rapporten viser at til sammen syv strekninger langs ny trasé kommer i berøring med aktsomhetsområder for jord- og flomskred, inklusive veibanen øst for Stavsjøfjelltunnelens utløp øst [13]. Geoteknisk rapport for reguleringsplanen har vurdert fire områder som mest kritiske ut fra grunnforhold, topografi og planlagte veifyllinger [24]. Løsmasseskråningen sør for tunnelutløp øst er ikke et av disse områdene.

For prosjekteringsfasen er granskingsgruppen forelagt rapporter med vurdering av geofarer som kan påvirke *ferdig anlegg* (se kap. 4.5.2). Geofarer som er identifisert er særlig blokknedfall i og langs ny trasé for E6, inklusive ved anleggsområdet der skredet oppsto, samt fare knyttet til områder med identifisert kvikkleire langs ny trasé. I tillegg er det også her inkludert en oversikt over bla. jord- og flomskredfare ved NVEs aktsomhetskart, med henvisning til at disse geofarene må vurderes i detalj og kvantifiseres. SINTEF kjenner ikke til at dette er fulgt opp for løsmasse-skråningen i det aktuelle anleggsområdet. I forbindelse med detaljprosjektering av nytt tunnelpåkugg, ble skredfaren for ny trasé for E6 knyttet til skogsområdet ovenfor fremtidig påkugg vurdert på grunn av bratt skråningsvinkel ($> 20^\circ$). Ettersom terrenget i området er skogkledt, ble det konkludert med at sannsynligheten for skred fra dette området og ned til tunnelpåkugget er lav ($< 1/1000$) [32]).

Granskingsgruppen er ikke forelagt noen farekartlegging eller risikoanalyse av skredfare i forbindelse med masseuttak og etablering av løsmasseskjæring i det aktuelle anleggsområdet, foruten ett notat med stabilitetsanalyse som totalentreprenøren fikk utført i forbindelse med prosjektering av midlertidig anleggsvei i påkuggsområdet (se kap. 5.3.3). Beregningen i denne stabilitetsanalysen ga for høy sikkerhetsfaktor, fordi grunnvannsnivået var plassert for lavt. Dette, sammen med fravær av øvrige stabilitetsberegninger for området, kan ha bidratt til at de involverte aktørene undervurderte faren for jordskred. I og med at skredområdet ikke var identifisert som et farlig område, ble det i utførelsen mindre oppmerksomhet på risikoen i skredområdet sammenlignet med antatt farligere områder.

Planen for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-planen) skal beskrive hvordan risikoforholdene som følger av byggherrens og de prosjekterende sine valg, skal håndteres. SHA-planen av 11.03.22 [46] beskriver prosjektspesifikke risikoforhold og tiltak relevante for risiko for skred i området. Tabell 6-1 gjengir tre prosjektspesifikke risikoforhold relevante for skred i området. Her kommer det tydelig fram at det er totalentreprenør sitt ansvar å følge opp de prosjektspesifikke risikoforholdene og gjennomføre tiltak.

Tabell 6-1. Utdrag av risiko- og tiltakstabellen i byggherrens SHA- plan [46].

Nr.	Prosjektspesifikk risiko	Tiltak	Ansvar
4	Grunnforhold: - Kvikkleire, fare for skred/utglidning - Høy grunnvannstand	Følge geoteknikers prosjekteringsrapport, gjennomføringsplan, kontrollplan og anvisninger på lokasjon for arbeidsoppgaven	Entreprenør
5	Masseutskifting	Følge rekkefølge for utlegging og geoteknikers prosjekteringsrapport, gjennomføringsplan, kontrollplan og anvisninger på lokasjonen for arbeidsoppgaven.	Entreprenør
15	Arbeid i nærhet til eksisterende vei - Utrasing av vei pga. utgraving av masse	Følge geoteknikers prosjekteringsrapport, gjennomføringsplan, kontrollplan og anvisninger på lokasjonen for arbeidsoppgaven	Entreprenør

6.1.3 Risikovurdering

Foruten stabilitetsanalysen for den midlertidige anleggsveien, var det ikke utført farekartlegging eller risikoanalyse knyttet til skredfare for løsmasseskråningen i påhuggsområdet. De involverte aktørene var dermed på forhånd ikke kjent med at det var noen særskilt fare knyttet til skråningsstabiliteten i anleggsområdet. Dette medvirket videre til at risikovurdering, planer og tiltak var mangelfulle og ikke tilpasset de faktiske forholdene.

I planen for gjennomføring av gravearbeidet i påhuggsområdet (Construction Method Statement "Precut of Stavsjøfjell North Tunnel" [56] (precut = forskjæring) står det:

"Certain safety risks have been identified in relation to this construction activity. All hazards identified are addressed in the relevant HS Plan for this Construction activity. All hazards may also be identified in the Risk Assessment. Before the work starts and along the way when we start with a lot of work tasks, we do a risk analysis where everyone who works on the project participates. We will identify and assess dangerous conditions and map risk and take necessary risk-reducing measures".

Her vises det til at alle identifiserte farer er adressert i SHA-planen. Videre står det at farer kan bli identifisert i risikoanalyser, og at de gjør risikoanalyser før de setter i gang mange av oppgavene, og underveis. Planen viser ikke til at det er identifisert noen fare for skred eller gjennomført risikovurdering av skred i området.

Om risikovurdering for arbeidet i skredområdet skriver totalentreprenøren at "Risikovurderingen for arbeidene ble utarbeidet av underentreprenør graving, ettersom arbeidene utføres av underentreprenør"⁹. Totalentreprenør skriver altså at risikovurderingen er gjort av underentreprenør, men underentreprenør har ikke ansvar for å vurdere sannsynligheten for skred eller vurdere sannsynlighetsreducerende tiltak mot skred.

⁹ Brev fra Acciona til Arbeidstilsynet av 25.08.2022.

Underentreprenør graving har laget en Sikker jobb-analyse [48] og en mer overordnet risikovurdering for arbeidet [47]. I Sikker jobb-analysen står det bl.a.: "*Rømningsveier fra maskinene gis ekstra oppmerksomhet. Eventuell traversering skal skje med døra pekende oppover. Ingen skal oppholde seg nedenfor maskiner i skrånende terreng*". Videre står det at "*Sikre graveskråninger må opprettholdes*". Risikovurderingen til underentreprenøren omhandler tiltak knyttet til restrisiko (rømningsveier, retning døra skal være, hvor arbeidstakerne skal oppholde seg i forhold til maskiner, og sikre graveskråninger for egne arbeidstakere). I risikovurderingen står det også at det skal være "*sikre graveskråninger i henhold til lokal masse (i henhold til gjeldende Method Statement*" (SINTEFs oversettelse).

Den reelle risikovurderingen for prosjekteringen ligger i det geotekniske underlaget og Method Statement, noe som ikke tilfredsstiller kravene til en formell og systematisk risikovurdering. Krav til risikovurdering finnes i arbeidsmiljøloven og flere forskrifter, jf. kap. 4.5. I henhold til internkontrollforskriften skal virksomheter "*... kartlegge farer og problemer og på denne bakgrunn vurdere risiko, samt utarbeide tilhørende planer og tiltak for å redusere risikoforholdene*". Vurderingene skal dokumenteres skriftlig [41]. Ifølge forskrift om utførelse av arbeid skal det før gravearbeid settes i gang lages en risikovurdering [60]. Videre skal det lages en ny risikovurdering ved endringer i forhold som kan påvirke arbeidstakernes sikkerhet. Granskingsgruppen er ikke forelagt noen overordnet systematisk risikovurdering for arbeidet. Det ble heller ikke laget en ny risikovurdering etter skredene 15. og 20. april.

6.1.4 Planer og tiltak

Arbeidsprosedyren/planen for arbeidet i området er beskrevet i Construction Method Statement "*Pre-cut of Stavsjøfjell North Tunnel*", datert 21.03.2022 [56]. Dokumentet omhandler forberedende arbeider og beskrivelse av arbeider med masse ("earthworks"). Her står det blant annet at det for løsmasser (sand) og forvitret fjell skal graves med en helning på 1(H):2(L), og for løsmasser (leire) skal det graves med en helning på 1(H):3(L).

Etter skredet den 15. april utførte totalentreprenør og underentreprenør en befaring i anleggsområdet. Det ble besluttet å iverksette tre tiltak, som er beskrevet i «Geotechnical follow-up» [7]:

1. Lage en steinvoll på toppen av bergoverflaten parallelt med eksisterende E6 for å unngå muligheten for at andre skred kan påvirke veien
2. Redusere toppen av skråningen
3. Lage en dreneringsgrøft i den øvre delen av skråningen (SINTEFs oversettelse)

For vurdering av de tre tiltakene, se kap. 5.5.

Etter skredet 20. april ble det laget en "safety issue" hvor hendelsen er kategorisert som en nestenulykke med høyeste nivå for alvorlighet (nivå 5) [8]. Onsdag 4. mai kl. 9-9:30 utførte representanter fra totalentreprenør og underentreprenør en felles befaring og muntlig gjennomgang i anleggsområdet for å avklare gjenopptakelse av gravearbeidet [61]. Ut fra en visuell observasjon av området, vurderte aktørene det slik at det ikke hadde skjedd endringer i grunnforhold og at det dermed ikke var behov for endringer i utførelsen slik den er gitt i metodebeskrivelsen (Method Statement). Det ble besluttet at gravearbeidet skulle gjenopptas, og at gravingen skulle starte med å ta ned høyden i bakkant av løsmassedepoiet, fra turstien og i retning fjellskrenten.

Det er ikke uvanlig at det skjer mindre skred i anleggsarbeid. Det at det hadde skjedd to skred i samme område, hvorav det siste den 20. april var ganske stort (SINTEF anslår 200-250 m³), burde imidlertid ha medført en systematisk evaluering av skråningsstabiliteten (jf. Tabell 5-1), en risikovurdering som inkluderte vurdering av sannsynlighet for skred, samt vurdering av mulige konsekvenser også for 3. part (trafikanter på E6, samt beboere i området).

6.1.5 Byggherrens rolle i risikostyring

Byggherren har i henhold til byggherreforskriften ansvar for å koordinere og følge opp at hensynet til sikkerhet, helse, og arbeidsmiljø blir ivaretatt. Byggherren beskriver i planen for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-planen) [46] hvordan risikoforholdene som følger av byggherrens og de prosjekterende sine valg, skal håndteres. SHA-planen beskriver prosjektspesifikke risikoforhold og tiltak relevante for risiko for skred i området, og at ansvaret for tiltak ligger hos entreprenøren.

Byggherren gjennomgår risikoforholdene omtalt i SHA-planen minimum hver måned og oftere ved behov, og har SHA-møter sammen med totalentreprenøren hver måned med gjennomgang av risikoforhold for de neste 4-6 ukene. Til tross for dette har ikke byggherren fanget opp manglene i stabilitetsberegninger, farekartlegging, risikovurderinger, planer og tiltak. Byggherren ble heller ikke formelt varslet om skredene 15. og 20. april i henhold til varslingsplan, jf. kap. 6.3.

SINTEF vurderer at byggherrens begrensede oppfølging og koordinering har sammenheng med at byggherren har en relativt liten prosjektorganisasjon sett i forhold til utfordringene i prosjektet. Dette er nærmere omtalt i kap. 6.5.

6.1.6 Oppsummering

SINTEF har belyst de tre grunnleggende elementene i risikostyring i denne delen:

1. Kartlegge farer (hva som kan skje)
2. Vurdere risiko
3. Utarbeide planer og tiltak for å redusere risiko

Mangler ved farekartlegging forut for anleggsarbeidet medførte at skredfaren ikke var kjent før anleggsarbeidet ble igangsatt. Dette medvirket videre til at risikovurdering, planer og tiltak også var mangelfulle og ikke tilpasset de faktiske forholdene.

Det skal lages ny risikovurdering ved endringer i risikoforhold [60]. SINTEF sin vurdering er at skredene 15. april og 20. april indikerte at grunnen var ustabil, og at det derfor burde vært laget en risikovurdering etter de to skredene. Det ble satt inn risikoreducerende tiltak i etterkant av skredet 15. april, men de var ikke basert på en systematisk risikovurdering og var ikke tilstrekkelige for å forhindre skredet 4. mai.

Byggherren har ansvar for å sikre, koordinere og følge opp at hensynet til sikkerhet, helse, og arbeidsmiljø blir ivaretatt, men fanget ikke opp manglene i stabilitetsberegninger, risikovurderinger, planer og tiltak. SINTEF vurderer at en mer aktiv oppfølging og koordinering av prosjektering og utførelse fra byggherren, jf. blant annet byggherreforskriften §§ 5, 9, 13 og 14, kunne avdekket manglene i risikostyringen og dermed redusert sannsynligheten for skredet.

6.2 Geologisk og geoteknisk kompetanse og ressurser

Detaljprosjektering av veitrasé for ny E6RV (ferdig anlegg) utføres av DJV. Detaljprosjektering av midlertidige anlegg i utførelses/byggefasen utføres av totalentreprenøren.

Totalentreprenøren engasjerte ekstern rådgiver til å utføre en vurdering av stabiliteten for den midlertidige anleggsveien som var prosjektert opp til og i påhuggsområdet. Det ble utført stabilitetsberegninger for flere profil langs den prosjekterte strekningen, hvorav de to øverste profilene lå i påhuggsområdet, der skredet gikk. Som nevnt i kap. 5.3.3 viste beregningene at disse to profilene hadde tilfredsstillende stabilitet, vurdert opp mot sikkerhetsfaktor for nøytralt brudd i både konsekvensklasse 2 og 3. SINTEFs undersøkelser har imidlertid vist at grunnvannsstanden i de to aktuelle beregningsprofilene ble lagt for lavt (i det ene profilet mellom leire og fjell), og at den beregnede sikkerhetsfaktoren dermed var for høy. Plassering av grunnvannsnivå i profilet har avgjørende betydning for beregning av stabilitet ved en drenert situasjon av leire. Ny beregning (utført i denne granskingen) med grunnvannstand på et mer realistisk nivå gir en sikkerhetsfaktor like over 1, dvs. nært brudd. Det at grunnvannstanden i den opprinnelige beregningen er lagt slik det er gjort, kan tyde på mangelfull forståelse av lokale hydrogeologiske forhold og manglende kunnskap om hvordan grunnvannstand i leire skal vurderes.

I notatet med stabilitetsberegningene fremgår at den midlertidige anleggsveien er definert i konsekvensklasse 2 (CC2) [45]. Den øverste delen av anleggsveien, som lå i portalområdet (se Figur 4-4), skulle imidlertid ha vært klassifisert i konsekvensklasse 3 (CC3), ettersom portalområdet er klassifisert i CC3. Dersom riktig klasse (CC3) hadde blitt definert ved stabilitetsberegningene for portalområdet, ville dette utløst krav om utvidet kontroll som beskrevet i kap. 4.4. I tillegg var dokumentet med stabilitetsanalysene for den midlertidige anleggsveien klassifisert som et notat, og ble derfor ikke varslet i PIMS (Process Information Management Systems). Hadde notatet blitt klassifisert som rapport, ville det blitt varslet i PIMS, og utvidet kontroll ville da ha blitt utført.

Skredene som ble utløst i forkant av hendelsen den 4. mai, spesielt skred 2, burde ha medført nye stabilitetsberegninger og risikoanalyse av skredfaren. Granskingsgruppen har ikke funnet dokumentert at slike analyser er utført i form av skriftlig notat eller rapport.

Totalentreprenøren leide inn geotekniske ressurser til vurdering av utført arbeid opp mot prosjekteringsgrunnlag innen geoteknikk, samt følge opp problemstillinger knyttet til grunnforhold i utførelsesfasen. De innleide ressursene ble informert om skred 2 på e-post og var ikke på befaring før etter opprydding av skred 2. Det var dermed trolig ikke mangel på geotekniske ressurser og kompetanse i totalentreprenørens prosjektorganisasjon til oppfølgingen av grunnforhold i utførelsesfasen, men disse kunne etter SINTEFs vurdering ha vært utnyttet i større grad. Bedre informasjonsoverføring om skred 2 kunne ha ført til at en ny vurdering av stabilitet for anleggsområdet hadde blitt utført, før videre anleggsarbeid ble gjenopptatt.

Notatet med stabilitetsberegninger fra ekstern rådgiver ga ingen holdepunkter om at stabiliteten var lav i området. Anleggsarbeidet fortsatte derfor, med stabilitetsforbedrende og konsekvensreducerende tiltak. Disse tiltakene fremstår som fornuftige, men var ikke tilstrekkelige (se kap. 5.5).

Oppsummering

Totalentreprenør hadde ansvar for geoteknisk prosjektering i utførelsesfasen, og brukte sine innleide geotekniske rådgivere ved spesifikke oppgaver. Notatet som omhandlet stabilitet for anleggsveien viste for høy sikkerhetsfaktor, fordi grunnvannstanden for profilene ble lagt på et for lavt nivå. Notatet om stabilitet av anleggsveien ble heller ikke varslet i PIMS slik at det kunne ha blitt utført utvidet, uavhengig kontroll. Notatet skulle også ha vært klassifisert i konsekvensklasse 3 (CC3), noe som ville ha ført til at notatet hadde blitt forelagt for utvidet kontroll.

Det var trolig ikke mangel på tilgjengelige ressurser for å vurdere stabiliteten av anleggsområdet i etterkant av de to første skredene, men ressursene ble ikke utnyttet i tilstrekkelig grad. Skred 2 med sin alvorlighetsgrad for potensiell konsekvens ble ikke kommunisert med tilstrekkelig tyngde til de innleide geotekniske ressursene eller byggherre. Bedre informasjonsoverføring om skred 2 kunne ha ført til at en ny vurdering av stabilitet for anleggsområdet hadde blitt utført før videre anleggsarbeid ble gjenopptatt.

SINTEF anbefaler at vurderinger av skråningsstabilitet i utførelsesfasen skal dokumenteres skriftlig, og fremlegges til byggherre og til uavhengig kontroll.

6.3 Rapportering og oppfølging av uønskede hendelser

For å forebygge skader og ulykker er rapportering og oppfølging av uønskede hendelser et sentralt element. Dette kan gi tidlige signaler om risiko for større hendelser og behovet for å iverksette tiltak for å unngå at alvorlige hendelser skal inntreffe. Derfor er det helt avgjørende å ha gode systemer og en god praksis for å rapportere og følge opp uønskede hendelser.

I sammenheng med skredet 4. mai er det naturlig å stille seg spørsmål om skredet kunne vært unngått dersom man hadde hatt en grundigere oppfølging av de to skredhendelsene 15. og 20. april. Risikostyringen knyttet til dette er omtalt i kap. 6.1. I dette delkapitlet vil vi se på rutiner og praksis knyttet til rapportering og varsling av hendelser. Var dette en medvirkende faktor til at man undervurderte skredfaren, selv etter de to første hendelsene? Burde denne typen hendelse innebære en mer tydelig varsling til involverte aktører (inkl. byggherre), i tillegg til rapportering gjennom digitale kanaler?

Totalentreprenør har en nullvisjon når det gjelder skader på sine prosjekter [59]:

"The project's OH&S objective is to strive for the achievement of ZERO HARM during all the phases of the project to all workers, visitors and any Third Party, and the communities in which it operates".

Når det gjelder rapportering og oppfølging av uønskede hendelser, sier totalentreprenøren at man skal *"encourage to report all accidents/incidents and near misses"*. Videre heter det at *"Acciona culture does not involve blame but instead involves identifying any deficiency to adopt fast, effective corrective measures"*.

Totalentreprenør har en egen "management procedure" fra 2017, kalt *PRC20, Incident Management* [62], der prosessen og metodikken for oppfølging av hendelser er beskrevet. Det er poengtert at gransking bør gjøres for alle uønskede hendelser, også hendelser som ikke har forårsaket skader på arbeidere, det vil si alvorlige nesten-hendelser. (*"The investigation should be extended to ALL incidents, including those that have not caused injuries to exposed workers"*). Prosedyren inneholder også en plan for kommunikasjon og varsling av alvorlige ulykker eller skader.

I E6RV er avtalen mellom totalentreprenør og byggherre at "mindre hendelser" skal rapporteres som RUH (Rapport om uønsket hendelse) i Dalux, som er totalentreprenørens rapporteringssystem hvor entreprenørene og byggherre har tilgang. Ut fra informasjon SINTEF har fått, skal mer "alvorlige hendelser" i henhold til varslingsplan varsles direkte på telefon til prosjektsjef og byggeleder hos byggherre. De to skredhendelsene 15. og 20. april ble registrert som RUH, men alvorlighetsgraden var ikke tydelig i rapporteringen og byggherren undersøkte derfor ikke skredene nærmere. Totalentreprenøren har i en "safety issue" [8] kategorisert hendelsen 20. april som en

nestenulykke med høyeste nivå for alvorlighet (nivå 5), noe som viser at totalentreprenøren så alvorlig på hendelsen. SINTEFs vurdering er at skredet den 20. april var såpass omfattende og med et så stort skadepotensial at totalentreprenør burde ha varslet prosjektsjef og byggeleder hos byggherre direkte på telefon i henhold til varslingsplan.

Det er ulike versjoner av hvordan, og i hvilket omfang byggherre ble varslet om skredene 15. og 20. april. Det sentrale er imidlertid at kommunikasjonen mellom totalentreprenør og byggherre, og internt hos byggherre, var mangelfull slik at sentrale personer hos byggherre ikke var kjent med skredene. Dersom kommunikasjonen rundt skredhendelsene 15. og 20. april hadde vært bedre, kunne byggherre ha hatt mulighet til å følge opp risikostyringen tettere. Granskingsgruppen anbefaler at byggherre og entreprenør i dette prosjektet og i fremtidige prosjekter tydeliggjør hva som menes med "mindre hendelser" og "alvorlige hendelser", slik at man har en felles forståelse av hvilke hendelser som skal rapporteres som RUH og hvilke hendelser som skal varsles direkte til prosjektsjef og byggeleder hos byggherre.

Informasjon SINTEF har fått gjennom intervjuer kan tyde på at noen unnlater å rapportere fordi de frykter konsekvensene. Dette til tross for at totalentreprenøren i sin "*OH&S Management Plan*" beskriver en kultur som "*does not involve blame*", og at et kulturprogram som inkluderer eget team, underentreprenører og byggherre skulle implementeres i prosjektet.

Oppsummering

De to skredene 15. og 20. april ble registrert som RUH-er, men det er ulike versjoner av hvordan, og i hvilket omfang, byggherre ble varslet om skredene 15. og 20. april. Dersom kommunikasjonen rundt skredhendelsene 15. og 20. april hadde vært bedre, kunne byggherre ha hatt mulighet til tettere oppfølging av risikostyringen.

Basert på intervjuer og dokumentasjon vurderer granskingsgruppen at rapportering, varsling og oppfølging av uønskede hendelser har vært mangelfull, noe som gjenspeiler svakheter i systemet for rapportering og varsling, og i rapporteringskulturen.

SINTEF anbefaler at byggherre og entreprenør i dette prosjektet og i fremtidige prosjekter etablerer en felles forståelse av hvilke hendelser som skal rapporteres som RUH og hvilke hendelser som skal varsles direkte til prosjektsjef og byggeleder hos byggherre.

SINTEF anbefaler at prosjektet arbeider for å utvikle en rettferdighetskultur ("just culture") [63] når det gjelder rapportering av uønskede hendelser. Dette innebærer en aksept for at det er menneskelig å gjøre feil, og at rapportering av feil og uønskede hendelser gir et godt utgangspunkt for læring og forbedring på systemnivå.

6.4 Kommunikasjon og samhandling

I likhet med mange bygg- og anleggsprosjekter, har veiprojektet E6RV en kompleks struktur med mange aktører involvert i ulike stadier av prosjektet. God kommunikasjon og samhandling er dermed avgjørende for å kunne utføre arbeidet sikkert og effektivt.

Det er mange ulike former for kommunikasjon og samhandling i bygg- og anleggsprosjekter, mellom ulike faser, på ulike nivåer og innad/mellom aktører. Arbeidsmiljøloven med tilhørende forskrifter (inklusive byggherreforskriften) stiller krav til kommunikasjon og samhandling i prosjektene.

Byggherrens ansvar er regulert i byggherreforskriften [38], der SHA-planen er sentral. I SHA-planen for E6RV har byggherre to punkter som gjelder kommunikasjon og samhandling i risiko- og

tiltakstabellen (Tabell 6-2). Disse omhandler kommunikasjon mellom arbeidstakere med forskjellig morsmål og kulturforskjeller. Tiltakene som entreprenøren forventes å iverksette er å utarbeide rutiner på relevante språk, og etterstrebe en bemanning med samme språk internt i laget og med minst én person som snakker flytende engelsk på hvert lag/skift. Andre tiltak er en grundig gjennomgang av interne og nasjonale regler og rutiner ved PSI (personlig sikkerhetsinvolvering), dvs. ved oppstart/introduksjon av nytt personell på prosjektet.

Tabell 6-2. Utdrag av risiko- og tiltakstabellen i SHA-planen (relatert til kommunikasjon og samhandling) [46].

NR	Prosjektspesifikk risiko	Tiltak	Ansvar
1	Kommunikasjon mellom arbeidstakere med forskjellig morsmål, spesielt med tanke på forståelse for risikoer på byggeplassen	Utarbeide rutiner og informasjon på relevante språk. Dette gjelder blant annet: <ul style="list-style-type: none"> - Oversette pkt. 5 SHA-plan - Oppslag og skilting på byggeplassen - Alle varslingsrutiner og varslingsplaner Etterstrebe å lage lag med samme språk internt i laget Ha minst en person som snakker flytende engelsk på hvert lag/hvert skift	Entreprenør
2	Forskjellige nasjonaliteter på anleggsområdet, kulturforskjeller	<ul style="list-style-type: none"> - Gjennomgå rapporteringsrutiner i PSI - Grundig gjennomgang av interne, lokale regler og nasjonalt regelverk 	Entreprenør

Granskingen viser at totalentreprenør har omfattende beskrivelser av styrende dokumentasjon, inkludert Method Statements (arbeidsbeskrivelser). Det som imidlertid er omtalt som et problem, er å overføre informasjonen til de som skal gjøre jobben ute på anleggsplassen. Det er gode planer og strukturer, men det er mye dokumentasjon og viktige budskap kan lett drukne.

Noen utfordringer for kommunikasjon og samhandling kan tilskrives språk og kultur. På grunn av ulikt språk og ulik kultur tar det tid å forstå hverandre. Dette var spesielt krevende i starten av prosjekt E6RV, men har blitt bedre utover i prosjektet. Totalentreprenør opplever at de trenger flere norske ledere for å informere arbeidstakere som ikke har erfaring fra prosjekter i Norge, men det har vist seg vanskelig å få norsk seniorkompetanse inn i prosjektet.

Totalentreprenør har uttrykt ønske om at byggherre hadde imøtekommet deres ønske om å jobbe med det psykososiale arbeidsmiljøet mellom partene. Dette beskrives av enkelte som dårlig, selv om det varierer, avhengig av på hvilket nivå man er i organisasjonen. Mange fremhever et godt samarbeidsklima på fag-til-fag nivå, men at det er en utfordring med kommunikasjonen "oppover i systemet". Totalentreprenør mener kommunikasjonen er vanskelig fordi de opplever at byggherre og totalentreprenør har ulik oppfattelse av ansvar i prosjektet. Totalentreprenør har med seg forventninger fra samhandlingsfasen om god kommunikasjon og samhandling med byggherre, og ønsker mer synlighet og involvering fra byggherre også i prosjektets utførelsesfase.

Begge parter peker på en "kontraktuell tilnærming", dvs. at det tas bilder og sendes brev/e-post i stedet for å avklare saker direkte på telefon eller i en prat på anleggsplassen. Med en slik tilnærming

har saker en tendens til å vokse, og flere og flere ledere blir involvert. Det hevdes at dette er en medvirkende faktor til at arbeidstakerne kvier seg for å melde fra om enkelte forhold, da de er bekymret for konsekvensene (f.eks. at de skal miste jobben). Dette kan medføre liten fleksibilitet i gjennomføringen av arbeidet.

Granskingsgruppens vurdering er at de nevnte utfordringene knyttet til kommunikasjon og samhandling i prosjektet kan ha vært en medvirkende faktor til hendelsen. Dette gjelder bl.a. mangelfull kommunikasjon og samhandling mellom totalentreprenør og byggherre rundt uønskede hendelser. Videre kommer det fram at totalentreprenør i liten grad benytter kompetansen og lokalkunnskapen til underentreprenør i gjennomføringen av arbeidet.

Oppsummering

I likhet med mange bygg- og anleggsprosjekter, har prosjektet E6RV en kompleks struktur med mange aktører involvert i ulike stadier av prosjektet. God kommunikasjon og samhandling er dermed avgjørende for å kunne utføre arbeidet sikkert og effektivt.

Både totalentreprenør og byggherre oppgir at kommunikasjon og samarbeid om sikkerhets-spørsmål bør bli bedre. Noen utfordringer for kommunikasjon og samhandling kan tilskrives språk og kultur.

Totalentreprenøren har med seg forventninger fra samhandlingsfasen om god kommunikasjon og samhandling med byggherre, og ønsker mer synlighet og involvering fra byggherre også i prosjektets utførelsesfase.

SINTEF anbefaler at partene viderefører de gode intensjonene fra samhandlingsfasen ved at byggherre tar initiativ til en forventningsavklaring med totalentreprenøren, med mål om å få en omforent forståelse av ansvarsfordelingen og samarbeidsformer i prosjektet.

6.5 Byggherrens styring, oppfølging og kontroll

Både entreprenøren og byggherren har ansvar for at sikkerhetsstyringen i et prosjekt fungerer. Entreprenøren har ansvaret for utførelsen, mens byggherren skal sikre at sikkerhet, helse og arbeidsmiljø blir ivaretatt, legge til rette for dialog, koordinere og følge opp. I de foregående delkapitlene er det beskrevet mangler i sentrale deler av sikkerhetsstyringen i prosjektet, som risikostyring, geofaglig oppfølging og kontroll, rapportering og oppfølging av uønskede hendelser, og kommunikasjon og samhandling. SINTEF har også registrert at det finnes mange gode planer og dokumenter for sikkerhetsstyring i prosjektet, samtidig som det er funnet eksempler på at arbeidet ikke utføres slik som beskrevet i planene.

SINTEF sin vurdering er at det er nødvendig med en aktiv byggherre for å oppnå god sikkerhet i store krevende prosjekter. Det anbefales at både totalentreprenøren og byggherren går gjennom sine sikkerhetsstyringssystemer for å sikre at sentrale elementer er på plass [64]. Dette kan bidra til å forebygge lignende ulykker i fremtiden.

Byggherrens plikter når det gjelder sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplassen er regulert gjennom byggherreforskriften. Forskriftens formål er å verne arbeidstakerne mot farer ved at det tas hensyn til sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser i forbindelse med planlegging, prosjektering og utførelse av bygge- eller anleggsarbeider. Bakgrunnen for byggherreforskriften er blant annet at mange ulykker i bygg og anlegg har sammenheng med mangler ved arkitektoniske løsninger, organisatoriske løsninger, planlegging og koordinering. Ett mål med forskriften er å ansvarliggjøre hele kjeden av involverte aktører for å redusere risiko.

I byggherreforskriftens § 5 (Generelle plikter) er følgende krav definert [38]:

Byggherreforskriftens § 5 (Generelle plikter):

Byggherren skal gjennom **hele prosessen**:

- a) sørge for at hensynet til sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplassen blir ivaretatt
- b) sikre at pliktene som er pålagt de prosjekterende, arbeidsgiverne og enmannsbedriftene i denne forskriften blir gjennomført
- c) sørge for og legge til rette for nødvendig dialog og samhandling mellom prosjekterende, arbeidsgivere og enmannsbedrifter for å sikre at hensynet til arbeidstakernes sikkerhet, helse og arbeidsmiljø blir ivaretatt ved prosjektering og utførelse av bygge- eller anleggsarbeider.

Byggherren skal under **planleggingen og prosjekteringen**:

- a) ivareta sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ved de arkitektoniske, tekniske eller organisasjonsmessige valg som foretas
- b) kartlegge risikoforhold som har betydning for arbeidene som skal utføres
- c) vurdere risikoen som er kartlagt etter bokstav b og utarbeide planer med tiltak for å fjerne eller redusere risikoen
- d) dokumentere kartleggingen, risikovurderingen og planene etter bokstav b) og c)
- e) sørge for at det avsettes tilstrekkelig tid til prosjektering og utførelse av de forskjellige arbeidsoperasjoner
- f) dokumentere vurderingene som ligger til grunn for den tid som avsettes etter bokstav e).

Byggherren skal under **utførelsen av arbeidene** ivareta hensynet til sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ved koordinering og oppfølging av virksomhetenes arbeid på bygge- eller anleggsplassen.

Byggherreforskriften er et godt rammeverk for å ivareta god sikkerhetsstyring i prosjekter. Byggherre har et omfattende ansvar for styring, oppfølging og kontroll i henhold til denne forskriften, og dette gjelder uansett entreprisform. Byggherre skal ivareta sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ved koordinering og oppfølging av arbeidet i prosjektet. Dette kan innebære aktiv oppfølging og kontroll gjennom eksempelvis inspeksjoner, revisjoner, felles møter, gode rapporteringssystemer og rutiner for kommunikasjon og informasjonsdeling, samt til enhver tid ha en oppdatert SHA-plan.

I intervjuene kom det fram et gjensidig ønske fra representanter hos totalentreprenør og fra byggherres prosjektorganisasjon om mer tilstedeværelse og tettere oppfølging fra byggherre i prosjektet. Selv om dette prosjektet har fått tildelt flere ressurser enn det som er vanlig praksis for byggherre, er granskingsgruppens vurdering at byggherre har hatt en prosjektorganisasjon som ikke har vært tilpasset utfordringene i prosjektet.

Noen prosjekter krever tettere oppfølging fra byggherre enn andre prosjekter. Dette kan skyldes prosjektets anleggsmessige eller organisatoriske kompleksitet, eller entreprenørers kompetanse, kvaliteter og prestasjoner. Det er viktig at dette vurderes i forbindelse med tildeling av kontrakter og planlegging av prosjektgjennomføring. Vi anbefaler at byggherre vurderer om oppfølgingen av prosjekter er i tråd med byggherreforskriften for å ivareta sikkerhet, helse og arbeidsmiljø i prosjekter, og at Nye Veier i fremtidige prosjekter sikrer fleksibilitet i bemanning av prosjekter.

Oppsummering

Byggherreforskriften stiller omfattende krav til byggherre når det gjelder koordinering og oppfølging av virksomhetenes arbeid på anleggsplassen. Byggherreforskriften er et godt rammeverk for sikkerhetsstyring i prosjekter. SINTEFs vurdering er at en mer aktiv oppfølging og

kontroll av prosjektering og utførelse fra byggherren kunne redusert sannsynligheten for skredet 4. mai.

Vi anbefaler at byggherre vurderer behovet for oppfølging og ressursinnsats på sikkerhet, helse og arbeidsmiljø ut fra prosjektets anleggsmessige- og organisatoriske kompleksitet, og entreprenørens kompetanse, kvaliteter og prestasjoner. Byggherre bør derfor ha fleksibilitet til å tilpasse og justere oppfølging og ressursinnsats til utfordringene i det enkelte prosjekt.

Del III: Konklusjoner og anbefalinger

7 Konklusjoner

Skredet ved Stavsjøfelltunnelen 4. mai og de to mindre skredene i april 2022 skjedde i forbindelse med anleggsarbeid ved klargjøring av området til påhugg av tvillingløp for E6RV. SINTEF konkluderer med at skredet var en systemulykke, hvor en kombinasjon av flere direkte og bakenforliggende faktorer medvirket til skredet. I det følgende oppsummeres SINTEFs konklusjoner om direkte og bakenforliggende årsaker.

7.1 Skredet 4. mai

- Skredet var et jordskred, som ble utløst som et rotasjonsskred med innsynkning av skråningstopp og heving i bunnen av rasgrova.
- Skjærflata gikk ned i øvre deler av leira.
- Skredmassene var vannholdige og besto av silt, sand, pukk og stein, med innslag av middels sensitiv leire.
- Skredets løsneområde var i overgangen mellom løsmasseskråningen og turstien i bakkant av skråningen.
- Totalt løsnet 6 000 m³ løsmasser i skredet, hvorav ca. 10 % (600 m³) havnet på veibanen til dagens E6.

7.2 Direkte årsaker

SINTEFs gransking har vist at løsmasseskråningen hadde lav stabilitet før anleggsarbeidet ble startet opp høsten 2021, på grunn av bratt skråningsvinkel med lagdelte, vannmettede løsmasser. Stabiliteten ble redusert utover sen vinteren 2022 på grunn av gradvis økende vannmetning i løsmassene og gravearbeid i skråningen.

Skredene ble utløst av en kombinasjon av naturgitte forhold (økt vanntilførsel som følge av vårsmelting og nedbør) og påført last under utføring av anleggsarbeidet.

Forhold som utløste skredene:

- Skred 1 fredag 15. april er definert som en grunn utglidning, og ble utløst på grunn av teleløsning og påført last fra masser i anleggsveien langs fjellskrenten sør i anleggsområdet.
- Skred 2 onsdag 20. april ble utløst på grunn av økt teleløsning, som ga økt permeabilitet og vanntilførsel i de finkornige massene; økt vanntilførsel fra snøsmelting og regn, som ga høyere grunnvannstand i andre halvdel av april; og påført last fra masser i anleggsveien.
- Skred 3 onsdag 4. mai ble utløst på grunn av ytterligere vanntilførsel fra snøsmelting og regn med dertil høyere grunnvannstand, og påført last fra gravemaskinen og fra fyllmassene som ble gravd ut og mellomlagret øverst i skråningen.

Forhold som ikke utløste skredet 4. mai:

- Sprengning i nytt tvillingløp.
- Graving i foten av løsmasseskråningen. Denne gravingen reduserte stabiliteten globalt i skråningen, men skred ble ikke utløst fordi leira hadde lokalt høyere skjærfasthet.
- Det er ikke observert noen form for naturlig erosjon i løsmasseskråningen.
- Det var ikke registrert kvikkleire i løsmasseskråningen.

7.3 Bakenforliggende årsaker

De direkte årsakene til skredet som det er konkludert med i kap. 7.2, er knyttet til bakenforliggende, mer systemiske årsaker som oppsummeres i det følgende.

Risikostyring:

- Mangler ved farekartlegging forut for anleggsarbeidet medførte at skredfaren ikke var kjent før anleggsarbeidet ble igangsatt. Dette medvirket videre til at risikovurdering, planer og tiltak også var mangelfulle og ikke tilpasset de faktiske forholdene.
- Skredene 15. og 20. april indikerte at grunnen var ustabil, og at det derfor burde vært laget en risikovurdering etter de to skredene. Skråningsstabiliteten ble ikke tilstrekkelig vurdert før videre anleggsarbeid i området ble gjenopptatt.
- Det ble satt inn risikoreduserende tiltak i etterkant av skredene 15. og 20. april, men tiltakene var ikke basert på en systematisk risikovurdering og var ikke tilstrekkelige for å forhindre skredet 4. mai.
- Byggherren har i henhold til byggherreforskriften ansvar for å sikre, koordinere og følge opp at hensynet til sikkerhet, helse, og arbeidsmiljø blir ivaretatt, men fanget ikke opp manglene i stabilitetsberegninger, risikovurderinger, planer og tiltak. SINTEF vurderer at en mer aktiv oppfølging og koordinering av prosjektering og utførelse fra byggherren kunne avdekket manglene i risikostyringen og dermed redusert sannsynligheten for skredet.

Geologisk og geoteknisk kompetanse og ressurser:

- I stabilitetsanalysen som totalentreprenøren fikk utført for den midlertidige anleggsveien ble sikkerhetsfaktoren beregnet for høy, fordi grunnvannsstanden i beregningsprofilene ble lagt for lavt (mellom leire og fjell). Dette kan tyde på mangelfull forståelse av lokale hydrogeologiske forhold og manglende kunnskap om hvordan grunnvannstand i leire skal vurderes.
- Notatet der stabilitetsanalysen er presentert ble ikke varslet i PIMS (Process Information Management Systems), og ble dermed ikke underlagt utvidet, uavhengig kontroll. Den øverste delen av anleggsveien som var prosjektert i portalområdet skulle ha vært klassifisert i konsekvensklasse 3 (CC3), noe som ville ha ført til at notatet hadde blitt forelagt utvidet kontroll.
- Det var trolig ikke mangel på tilgjengelige ressurser for å vurdere stabiliteten av anleggsområdet i etterkant av de to første skredene, men ressursene kunne ha vært utnyttet i større grad.
- Bedre informasjonsoverføring om skred 2 kunne ha ført til at en ny vurdering av stabilitet for anleggsområdet hadde blitt utført før videre anleggsarbeid ble gjenopptatt.

Rapportering og oppfølging av uønskede hendelser:

- De to skredene 15. og 20. april ble begge rapportert som RUH-er (Rapport om uønsket hendelse), men det er ulike versjoner av hvordan, og i hvilket omfang, byggherre ble varslet om disse skredene. Dersom kommunikasjonen rundt skredhendelsene 15. og 20. april hadde vært bedre, kunne byggherre ha hatt mulighet til tettere oppfølging av risikostyringen.
- Rapportering, varsling og oppfølging av uønskede hendelser har vært mangelfull, noe som gjenspeiler svakheter i systemet for rapportering og varsling.

- Det er flere eksempler på at involverte unnlater å rapportere uønskede hendelser fordi de frykter konsekvensene, noe som viser svakheter ved rapporteringskulturen.

Kommunikasjon og samhandling:

- Det er mange eksempler på et godt samarbeidsklima mellom byggherre og entreprenør på operativt og fag-til-fag nivå.
- Noen utfordringer med kommunikasjon og samhandling kan tilskrives språk og kultur.
- Byggherre og totalentreprenør har ulik oppfattelse av ansvar, noe som er krevende for kommunikasjon og samhandling. Begge parter peker på en "kontraktuell tilnærming" for å løse ad hoc problemer, dvs. at det tas bilder og sendes brev/e-post i stedet for å avklare forhold direkte på telefon eller i en prat på anleggsplassen.
- Generelt sett er det svakheter i kommunikasjon og samhandling mellom byggherre og entreprenør, og dette kan ha medvirket til skredet 4. mai 2022.

Byggherrens styring, oppfølging og kontroll:

- Noen prosjekter krever tettere oppfølging fra byggherre enn andre prosjekter. Sett i lys av at prosjektet har hatt relativt store anleggsmessige og organisatoriske utfordringer, mener SINTEF at byggherreorganisasjonen burde ha vært bedre tilpasset utfordringene i prosjektet.
- SINTEF sin vurdering er at en mer aktiv oppfølging og kontroll av prosjektering og utførelse fra byggherren ville redusert sannsynligheten for skredet 4. mai 2022.

8 Anbefalinger

Nedenfor følger granskingsgruppens anbefalinger til relevante aktører. Anbefalingene er ikke angitt i prioritert rekkefølge. Anbefalingene gir en oversikt over forslag til forbedringsområder, og er ment som utgangspunkt for utforming av konkrete tiltak tilpasset rammebetingelsene i det enkelte prosjekt.

Byggherre

- Gjennomføre revisjon av sikkerhetsstyringssystemet i dette prosjektet og andre prosjekter for å sikre at de sentrale elementene i sikkerhetsstyring er på plass.
- Sørge for fleksibilitet til å tilpasse prosjektorganisasjonen sin kapasitet og kompetanse til å følge opp de spesifikke risikoforhold, og anleggsmessige og organisatoriske utfordringer i hvert enkelt prosjekt.
- Sikre at farekartlegginger, risikovurderinger, tiltak og planer (risikostyring i prosjekter) gjennomføres med god kvalitet og er i henhold til lover, forskrifter og standarder.
- Sørge for en tettere oppfølging av prosjektspesifikke risikoforhold omtalt i SHA-planen, og at SHA-planen til enhver tid er oppdatert.
- Sikre at det eksisterer et godt system for avvikrapportering og læring, herunder registrering og oppfølging av rapporter om uønskede hendelser (RUH), og tydelige rutiner for hva som skal registreres som RUH, og hva som skal varsles direkte til prosjektledelsen hos byggherre.
- Sørge for god forventningsavklaring med entreprenør, med mål om å få en omforent forståelse av ansvarsfordeling, dialog og samhandling i prosjekter.

Utførende (totalentreprenør)

- Gjennomføre revisjon av sikkerhetsstyringssystemet i prosjektet og andre prosjekter for å sikre at sentrale elementer i sikkerhetsstyring er på plass.
- Sørge for at det gjennomføres farekartlegginger, risikovurderinger, tiltak og planer (risikostyring) med god kvalitet og i henhold til lover, forskrifter og standarder.
- Tydeliggjøre ansvar og roller til prosjekterende og rådgivere involvert i arbeidet, både når det gjelder rådgiving/prosjektering av ferdig anlegg og i utførelsesfasen.
- Sørge for å ha et godt system for avvikrapportering og læring, herunder registrering og oppfølging av rapporter om uønskede hendelser (RUH), og tydelige rutiner for hva som skal registreres som RUH og hva som skal varsles direkte til prosjektledelsen hos byggherren.
- Utvikle en *rettferdighetskultur* ("just culture") når det gjelder rapportering av uønskede hendelser. Dette innebærer en aksept for at det er menneskelig å gjøre feil, og at rapportering av feil og uønskede hendelser gir et godt utgangspunkt for læring og forbedring på systemnivå.
- Utnytte ressursene og kompetansen som finnes i prosjektorganisasjonen:
 - Forbedre dialogen med, og utnyttelse av kompetansen til underentreprenører (bl.a. om lokale forhold, geologi og løsmasser).
 - Trekke inn innleide geotekniske ressurser mer aktivt i befaringer og oppfølging av grunnforhold knyttet til løsmassestabilitet i utførelsesfasen.
 - Bedre samhandling mellom geoteknikere som jobber med detaljprosjektering og oppfølging av utførelse.

- Sikre at fagressursene som benyttes har tilstrekkelig kunnskap om lokale hydrogeologiske forhold og grunnleggende materialforståelse av leire.
- Vurdere skråningsstabilitet for alle faser i gjennomføring av anleggsarbeidet, der påvirkninger fra naturgitte forhold må inngå i vurderingene.
- Lage graveplaner som er stabilitetsmessig vurdert, der det tydelig fremgår anbefalt rekkefølge for gjennomføring av gravearbeidet.
- Sikre at gravearbeider gjennomføres i henhold til plan.

Bransjen

- Bransjen bør ta hensyn til variasjoner og raske endringer i vannmetning og grunnvannstand ved vurdering av skråningsstabilitet. Endringer i vannmetning og grunnvannstand kan skyldes naturgitte hydrologiske forhold som årstidsvariasjoner og ekstremnedbør, eller endring i avrenningsmønster som følge av anleggsarbeid i både utførelsesfase og driftsfase av et veiprojekt.
- Sørge for at det gjennomføres farekartlegginger og risikovurderinger med hensyn på skråningsstabilitet, skred- og naturfare ved midlertidige anlegg i utførelsesfasen. I risikovurderingen for midlertidige anlegg i utførelsesfasen bør risiko også for 3. part inngå i vurderingene.
- SINTEF anbefaler at vurderinger av skråningsstabilitet i utførelsesfasen dokumenteres skriftlig og fremlegges til byggherre og til uavhengig kontroll.
- Rask tilførsel av vann er den vanligste årsaken til at løsmasseskred utløses. Som en følge av et stadig varmere klima med stedvis mer ekstremnedbør, vil sannsynligheten for skred kunne øke lokalt. SINTEF anbefaler at effekten av klimaendringer inkluderes ved vurdering av skråningsstabilitet og skredfare i veiprojekter og andre utbyggingsprosjekter.

9 Referanser

- [1] Nye Veier, «Nye Veier har satt krisestab etter ras på E6 i Trøndelag,» 04 05 2022. [Internett]. Available: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/nye-veier-har-satt-krisestab-etter-ras-pa-e6-i-trondelag?publisherId=14424980&releaseld=17932561>.
- [2] Nye Veier, «Ekstern gransking av raset i Malvik,» 07 05 2022. [Internett]. Available: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/ekstern-gransking-av-raset-i-malvik?publisherId=14424980&releaseld=17932833&lang=no>.
- [3] U.S. Department of Energy, «Conducting Accident Investigations,» U.S. Department of Energy, Washington D. C., 1999.
- [4] R. K. Tinmannsvik og U. Kjellén, *Granskning etter hendelser. SIBA-notat - Sikkerhetsstyring i BA-bransjen*, SINTEF, 2018.
- [5] K. Hendrick og L. Benner, *Investigating Accidents with STEP*, New York: Marcel Dekker, 1987.
- [6] P. M. Schiefloe, «"En modell for samfunnssikkerhet". Notat 10/12. Vedlegg til 22. juli kommisjonen sin rapport,» NTNU Samfunnsforskning AS, 2012.
- [7] Acciona, *MEMO: Geotechnical follow-up support Stavsjøfjell East Tunnel entrance soil temporary excavation - E6RV-ACC-GT-MEM-DZ45-0052*, Trondheim: Acciona, 2022.
- [8] Acciona, *SI462 Slippage Stavsjøfjell North*, 2022.
- [9] Acciona, *E6 Ranheim – Værnes Project, Tilsynsrapport – tilbakemelding - E6RV-LET-ACC-ART-0004*, 2022.
- [10] Acciona, *FPRC20-01, Communication Of Accident Flash Report*, Trondheim: Acciona, 2022.
- [11] Rambøll, «Geoteknisk vurdering i forbindelse med utglidning ved Stavsjøfjell tunnelportal øst,» Rambøll, Trondheim, 2022.
- [12] Nye Veier, *E6 Ranheim - Værnes - Detaljreguleringsplan for E6 Helltunnelen – Hellstranda - E6RV-MUL-ZP-RPT-CA#00-0008*, Nye Veier, 2020.
- [13] Multiconsult, *Ingeniørgeologisk rapport for reguleringsplan – Dagsone Stavsjøfjelltunnelen-Værnes - E6RV-MUL-GE-RPT-CAH13-0005*, Trondheim: Acciona, 2019.
- [14] DJV, *Engineering geological report – Day zone 4-5 - E6RV-DJV-GE-RPT-DZ45-0001*, Trondheim: Acciona, 2022.
- [15] DJV, *Earthworks and Retaining Walls - Geotechnical Report for Day Zone 4+5 - E6RV-DJV-GT-RPT-DZ045-0003*, Trondheim: Acciona, 2021.
- [16] DJV, *New Stavsjøfjell East Entrance (Rock Cut) Detail design - E6RV-DJV-TN-RPT-NT02-0002*, 2021.
- [17] DJV, *Geologist follow-up – New Stavsjøfjell Tunnel East Entrance - E6RV-DJV-GE-MEM-NT02-0003*, 2022.
- [18] Nye Veier, «Nye Veier - Om oss,» 2022. [Internett]. Available: <https://www.nyeveier.no/om-oss/>.
- [19] Nye Veier, «Leverandørkonferanse 12. september 2018,» 12 09 2018. [Internett]. Available: https://www.nyeveier.no/media/3047/felles-presentasjon_norsk_copy.pdf.

- [20] Multiconsult, *Plan og profil - Profil 14750-15500 - E6RV-MUL-RD-DRC-CA#00-0016*, Trondheim, 2019.
- [21] Vegkontoret i Sør-Trøndelag, *E6 Øst, Østre tunnelpåhugg Stavsjøfjellet - Ud450Er01*, Malvik kommune, 1988.
- [22] Vegkontoret i Sør-Trøndelag, *E6 Øst, Holma bru - Ud450Er02*, Malvik kommune, 1988.
- [23] Vegkontoret i Sør-Trøndelag, «E6 Øst, Riggplass ved Homla bru - Ud450Er04,» Malvik kommune, 1988.
- [24] Multiconsult, *Geoteknisk vurdering for reguleringsplan – Delstrekning Stavsjøfjelltunnelen-Helltunnelen - E6RV-MUL-GT-RPT-CA#00-0004*, 2020.
- [25] Rambøll, *Factual Report Ground Investigation - G-rep-E60-01*, Trondheim, 2020.
- [26] Rambøll, *Structures E60 East Portal Tunnel Stavsjøfjell New Tunnel - 1350038342 G - rep-E60-01*, 2020.
- [27] Rambøll, *E6 Ranheim – Værnes Geophysical investigations - 1100041564*, 2020.
- [28] NGU, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» NGU, [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/. [Funnet 10 11 2022].
- [29] Rambøll, *Factual report ground investigations - G-rep-E60-01 - Rev 00*, 2020.
- [30] DJV, *Interpretative report – Geotechnical report for day zone 4+5 - E6RV-DJV-GT-RPT-DZ45-0001*, 2022.
- [31] Vegkontoret i Sør-Trøndelag, «E6 Øst, Anleggsvei til Homla bru - Ud450Er03,» Malvik kommune, 1988.
- [32] DJV, *Geohazards at New StavsjøfjellTunnel East Entrance - Input for E6RV-DJV-TN-RPT-NT02-0002*, Trondheim, 2021.
- [33] Vegdirektoratet, *Geoteknikk i vegbygging - Håndbok V220*, Oslo: Statens vegvesen, 2022.
- [34] Statens vegvesen, *N200 Vegbygging*, Oslo: Statens vegvesen, 2022.
- [35] European Standard, *Eurokode 7 — Geoteknisk prosjektering — Del 1: Allmenne regler - NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020*, Standard Norge, 2020.
- [36] *NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering, Del 1: Allmenne regler.*
- [37] European Standard, *Eurocode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner, NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016*, 2016: Standard Norge.
- [38] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *FOR-2009-08-03-1028 - Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser (byggherreforskriften)*, Lovdata, 2009.
- [39] Kommunal- og distriktsdepartementet, *LOV-2008-06-27-71 - Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven)*, Lovdata, 2008.
- [40] G. Paulsen og I. Høgåsen, *Sikkerhet i byggefasen - SHA - utfordringer i tidligfasen*, Byggenæringens Landsforening, 2021.
- [41] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *FOR-1996-12-06-1127 - Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (Internkontrollforskriften)*, Lovdata, 1996.

- [42] Multiconsult, *Risiko- og sårbarhetsanalyse til reguleringsplaner for strekningen Leistad – Helltunnelen – Hellstranda i Malvik og Stjørdal kommuner - E6RV-MUL-ZP-RPT-CA#00-0003*, 2019.
- [43] Multiconsult, *Ingeniørgeologisk rapport for reguleringsplan – Stavsjøfjelltunnelen - E6RV-MUL-GE-RPT-CAB11-0004*, 2019.
- [44] DJV, *Design Basis – Geology report - E6RV-DJV-GE-RPT-ALZN-0001*, 2021.
- [45] TEC/Acciona Construcción, *Geotechnical Evaluations For Stavsjøfjell Tunnel East Portal Access Road - E6RV-TEC-GT-MEM-DZ45-0027*, 2022.
- [46] Nye Veier, *Byggherrens plan for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø - NV E6 Ranheim - Værnes - Rev. 1.8*, 2022.
- [47] Br. Bjerkli, *Risk Assessment for project DZ 4,5,6 Activity Road Access to Stav North*, 2022.
- [48] Br. Bjerkli, *Safe job analysis no: 31 Precut Stav North*, 2022.
- [49] Norges vassdrags og energidirektorat, «Jordskred og flomskred,» Norges vassdrags og energidirektorat, 2017.
- [50] Gjerdrumutvalget, «Årsakene til kvikkleireskredet i Gjerdrum 2020,» Olje- og energidepartementet, Oslo, 2021.
- [51] A. Viken, *3D-effekter i analyser av seksjonsvis utgraving*, Trondheim: NTNU, 2022.
- [52] Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon, *På trygg grunn - Bedre håndtering av kvikkleiresisiko*, Oslo: Norges offentlige utredninger, 2022.
- [53] S. Myrabø, M. Viklund, K. Øvrelid, E. Øydvin, G. Petkovic, T. Humstad, K. Aunaas, V. Thakur og B. Dolva, *NIFS - sluttrapport - FoU-programmet Naturfare, infrastruktur, flom og skred*, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016.
- [54] U. Kjellén og E. Albrechtsen, *Prevention of accidents and unwanted occurrences: Theory, methods, and tools in safety management.*, CRC Press, 2017.
- [55] W. Haddon, «The basic strategies for reducing damage from hazards of all kinds. Hazard prevention.,» *Open Journal of Safety Science and Technology*, vol. 9, nr. 3, pp. 8-12, 1980.
- [56] Acciona, *Construction Method Statement "Precut of Stavsjøfjell North Tunnel" - E6RV-ACC-CD-TSP-DZ45-0238_Precut_Stavsjøfjell_North_Tunnel_rev00*, 2022.
- [57] International Organization for Standardization, *ISO 31000:2018 - Risikostyring - Retningslinjer*, International Organization for Standardization, 2018.
- [58] A. o. R. (. I. Forening), *FOR-2009-08-03-1028. SHA i bygge- og anleggsprosjekter - Veiledning om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø i planlegging og prosjektering - ISBN: 978-82-93131-18-2*, Rådgivende Ingeniørers Forening og Arkitektbedriftene – SHA Ekspertgruppen, 2019.
- [59] Acciona Construcción, *OH&S Management Plan - E6RV-ACC-HS-PLN-ALZN-0011*, 2022.
- [60] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *FOR-2022-05-10-820 - Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid)*, Lovdata, 2013.
- [61] Acciona Construcción, *MoM - Stav North re-start of works*, 2022.
- [62] A. Construcción, *Management Procedure PRC20, Incident Management*, 2017.

- [63] J. Reason, *Managing the Risks of Organizational Accidents*, London, 1997.
- [64] S. Winge, E. Albrechtsen og J. Arnesen, «A comparative analysis of safety management and safety performance in twelve construction projects,» *Journal of Safety Research*, vol. 71, pp. 139-152, 2019.
- [65] Vegdirektoratet, *Vegtunneler Håndbok nr 021- ISBN 978-82-7207-611-4*, Oslo: Statens vegvesen, 2006.
- [66] Meteorologisk institutt, «Norsk Klimaservicesenter,» Meteorologisk institutt, [Internett]. Available: <https://seklima.met.no/>.
- [67] NVE, MET og Statens vegvesen, «Se Norge,» [Internett]. Available: <https://senorge.no/>.
- [68] DJV, *Cut outside Stavsjøfjell Tunnel Portal East SB - E6RV-DJV-GT-MEM-DZ45-0007*, 2021.
- [69] Statens havarikommisjon, *NSIA-METODEN. Sikkerhetsfaglig rammeverk og analyseprosess for systematiske undersøkelser*, Lillestrøm. ISBN 978-82-690725-4-9: Statens havarikommisjon, 2021.

Vedlegg

Vedlegg 1: Granskingsmandat (Oppdragsgivers oppdragsbeskrivelse)



Foretaksnavn:
Nye Veier AS

Adresse:
Kjøtta 6
4630 Kristiansand

Org. nr.:
915 488 099

Nettside:
www.nyevierer.no

Bilag 1 - Oppdragsbeskrivelse

Nye Veier AS har behov for å granske hendelse med ras fra anleggsområde nord for Stavsjøtunnelen i Malvik kommune den 04.05.2022.

Granskningen sitt formål er å avdekke årsaker til at hendelsen (raset) oppsto og redusere faren for gjentakelse av lignende hendelser.

Granskningen omfatter ikke å vurdere eventuelle lovbrudd, skyldspørsmål eller ansvarsforhold. Granskningen skal heller ikke vurdere redningsinnsatsen, eller normaliseringsarbeidet for å gjenåpne veistrekningen og gjenoppta anleggsarbeidet.

Leverandøren skal:

Etablere en uavhengig granskningsgruppe som inkluderer personer med nødvendig fagkompetanse for å sikre en valid granskning. Habilitet til alle deltakere i undersøkelsesarbeidet skal vurderes og dokumenteres.

Granskningsgruppen skal:

- a) gjennomføre oppdraget basert på relevant metodikk for slik granskning.
- b) innhente nødvendig informasjon som er relevant for hendelsen.
- c) kartlegge, beskrive og vurdere planlegging, prosjektering og utførelse av arbeid relatert til arkitektoniske, tekniske og organisatoriske valg som er relevant for hendelsen.
- d) identifisere barrierer som var planlagt for arbeidet, herunder for å unngå ras og hvilke som eventuelt sviktet.
- e) identifisere direkte, medvirkende og bakenforliggende årsaker til at raset ble utløst og fikk slikt omfang.
- f) utarbeide og overlevere rapport som dokumentere hvordan og av hvem undersøkelsen er gjennomført, hendelsesforløp, barriereanalyse, årsaksanalyse med konklusjon, og sikkerhetstilrådninger. Rapporten skal presenteres for oppdragsgiver i møte.

Granskningsgruppen står fritt til å skaffe tilveie nødvendig fakta de mener er nødvendig for å få belyst nødvendige sider av saken.

Granskingsrapporten skal utformes på norsk og vil bli offentliggjort av Nye Veier.

Vedlegg 2: Forkortelser og sentrale begreper

Forkortelser

ALARP	As Low as Reasonably Practicable
BA	Bygg og anlegg
BH	Byggherre
BHF	Byggherreforskriften
CC/RC	Konsekvens-/pålitelighetsklasse
CPTU	Trykksondering med poretrykksmåling
DJV	Design Joint Venture
E6RV	E6 Ranheim-Værnes
GV	Grunnvannstand
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
ISO	International Organization for Standardization
KP	Koordinator Prosjektering
KU	Koordinator Utførende
LGN	Landsomfattende grunnvannsnett
MTO	Menneske – Teknologi – Organisasjon
NIFS	Naturfare, infrastruktur, flom og skred
NVE	Noregs vassdrags- og energidirektorat
OH&S	Occupational Health & Safety
PBL	Plan- og bygningsloven
PIMS	Process Information Management Systems
PK/UK	Prosjekteringskontroll/Utførelseskontroll
PKK/UKK	Prosjekteringskontrollklasse/Utførelseskontrollklasse
PSI	Personlig sikkerhetsinvolvering
RIF	Rådgivende Ingeniørers Forening
ROS	Risiko og sårbarhet
RUH	Rapport om uønsket hendelse
SHA	Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø
SHK	Statens havarikommisjon
SJA	Sikker jobb-analyse
SVV	Statens vegvesen
UE	Underentreprenør
ÅDT	Årsdøgntrafikk

Sentrale begreper

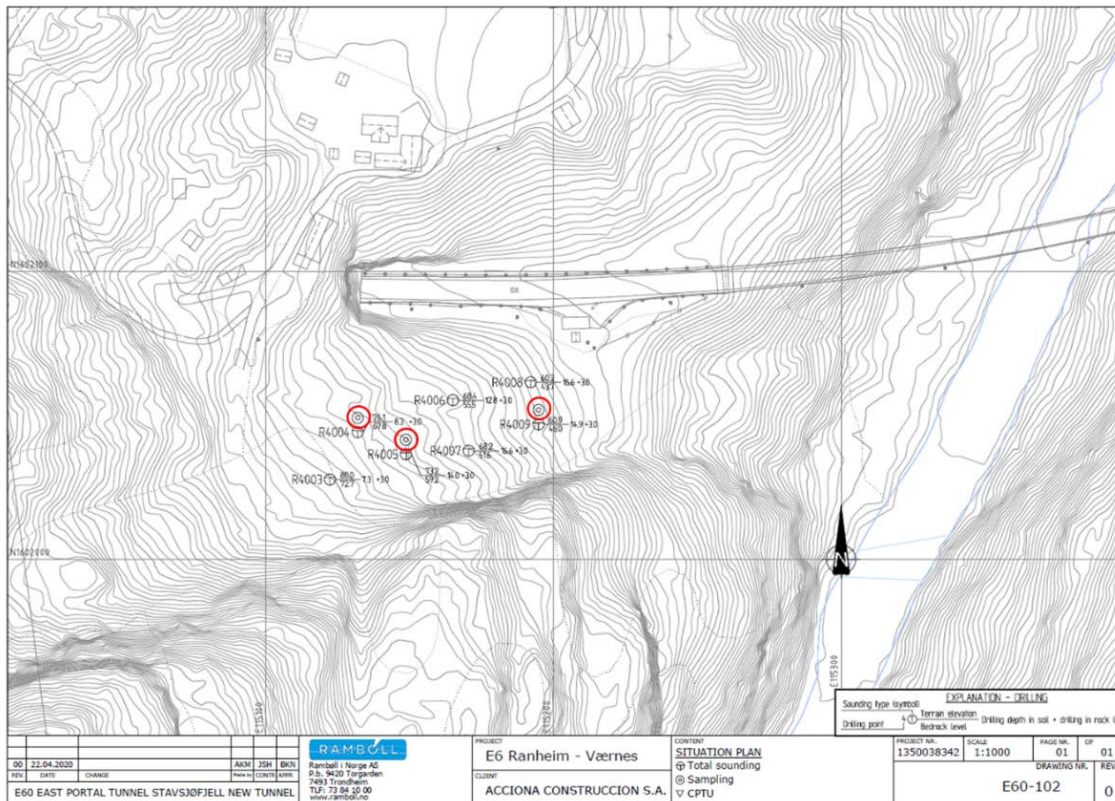
Begrep	Beskrivelse
Barriere/barrierefunksjon	En barrierefunksjon er "evnen en barriere har til å gripe inn i et hendelsesforløp for å eliminere eller redusere tap".
Boreprofil	Beskrivelse av opptatte prøver i et borehull samt inntegning av resultat fra laboratorieundersøkelser.
Enaksiale trykkforsøk	Forsøk som utføres på sylindriske prøvestykker. For prøver fra 54mm sylindere brukes høyde 10 cm. Last-deformasjonskurve angir brudd og styrkeverdi tilsvarende direkte udrenert skjærfasthet (c_{UD}) kan beregnes fra forsøket.
Fjellblotning	Synlig fjell (uspesifisert) på en ellers løsmassedekket dagoverflate eller på havbunnen.
Grunnvannstand	Nivå for beliggenhet av fritt grunnvann i løsmasser.
Jordskred	Jordskred er raske utglidninger og bevegelse av vannmettede løsmasser i bratte skråningsgradienter, utenfor definerte vannveier (NVE).
Konusforsøk	Konusforsøket er en empirisk metode for bestemmelse av kohesjonsjordarters udrenerte skjærfasthet. Konusforsøk utføres både på uomrørt og omrørt materiale for å definere sensitiviteten.
Leire	Leire, meget finkornet avsetning, hvor en vesentlig del av mineralkornene er mindre enn 0,002 mm. Leire er plastisk i fuktig tilstand, stiv og hard i tørr tilstand.
Løsmasseskred	Løsmasseskred er et skred av tidligere avsatte løsmasser. Skredene består som oftest av en blanding av organisk jord og vegetasjon, minerogene sedimenter og vann i ulike blandingsforhold.
Løsneområde	Område for masser som løsnes fra et skred og går utover i utløpssonen.
Method Statement	Dokument utarbeidet av TE som gir føringer for utførelsen av forberedende arbeider, arbeider som omhandler løsmasser og gjennomføring av arbeider med portalen for Stavsjøfjell øst.
Morene	Usortert løsmateriale av stein, avsatt av en isbre.
Nedbørfelt	Nedbørfelt brukes om størrelsen (flatemålet) på området med felles avrenning av vann inn i et annet område.
Piezometer	Et piezometer har en elektrisk trykk giver (svingende streng) montert i spissen. Den har kort responstid og kan anvendes for måling av hurtige og langsomme endringer i poretrykk, både i fine og i grovere masser.
Poretrykk	Poretrykk er trykket i porer i undergrunnen fra en væske (vann) eller en gass.
Rotasjonsskred	Rotasjonsskred kan inntreffe i alle leirjordarter, ikke bare i sprøbruddmateriale. Typisk for rotasjonsskred er at disse beveger seg i ett stykke og viser en tydelig rotasjon, som en nedsynkning i toppen av skråningen og utglidning/heving i bunnen av skråningen.
Sand	I løsmasser klassifiseres fraksjoner med en diameter på mellom 0,06 mm og 2 mm som sand.
Sensitivitet	Forholdet mellom udrenert skjærfasthet av uforstyrret c_u og omrørt c_{ur} materiale gir leiras sensitivitet $St = c_u/c_{ur}$. Lav sensitivitet $St < 8$, middels sensitivitet $8 < St < 30$, høy sensitivitet $St > 30$.
Sikkerhetsfaktor (i stabilitetsberegninger)	Begrepet "sikkerhetsfaktor" er ikke benyttet i dagens geoteknikk. Ved å anvende materialkoeffisienten som forholdet mellom karakteristisk styrke og opptredende spenning, blir denne analog med sikkerhetsfaktoren F som vi brukte før.
Silt	Silt er en finkornet jordart med en kornstørrelse som er mellom 0,002 og 0,06 mm.



Begrep	Beskrivelse
Skjærfasthet	Den skjærspenning som er mobilisert i et uomrørt, udrenert materiale når dette går til brudd.
Skredgrop	Formen på et løснеområde.
Sonderboring	Sonderboringer er en type undersøkelsesboring som utføres i for å bestemme løsmassenes egenskaper og tykkelse.
Totalsondering	En geoteknisk feltundersøkelse som oftest blir brukt i den innledende fasen for å få oversikt over grunnforholdene og kartlegge hvor dypt det er ned til berg eller harde masser. En totalsondering gir også en indikasjon på hvilken jordart grunnen består av og et grovt bilde av fastheten i løsmassene.
Tunnelportal	Byggverk som benyttes i endene av fjelltunneler for å beskytte tunnelåpning mot rennende vann og fallende snø, is, stein og jord (Statens vegvesen, 2006).
Utløpssone	Område for avsatte masser fra et skred.
Årsdøgntrafikk	Gjennomsnittstall for daglig trafikkmengde av kjøretøy på en vei; forkortes som ÅDT.

Vedlegg 3: SINTEFs stabilitetsberegninger

Rambøll utførte totalsondering og prøvetaking i 2020 [25] i flere punkter i anleggsområdet som vist på situasjonsplan i Figur V-1.

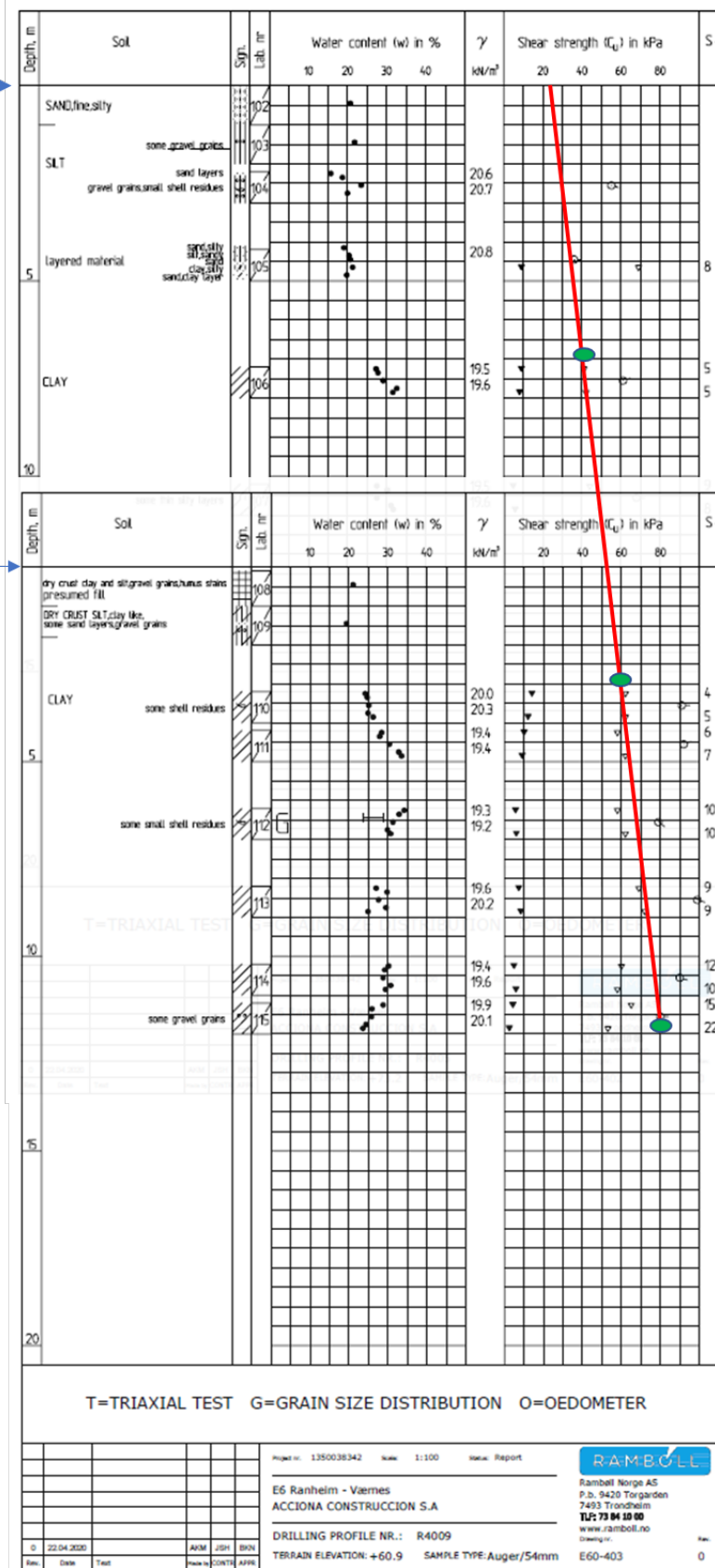


Figur V-1. Situasjonsplan med boringer utført av Rambøll; [25].

SINTEF har benyttet samme lagdeling, terrengforhold og grunnvannsnivå som i Rambølls beregninger. I SINTEFs analyse er resultatene fra laboratorieforsøk på prøver fra boreprofilene R4004, R4005 og R4009 brukt for å finne et representativt skjærfasthetsprofil i leire i forhold til koteverdi (markert med rød ring i Figur V-1). Det er lagt mest vekt på boreprofilene R4005 og R4009 i vurderingen av skjærfasthetsprofil. Boreprofil R4009 ligger et stykke utenfor beregningsprofilen for stabilitet. Totalsonderingen i R4008 ligger omtrent på samme kote og nærmere stabilitetsprofilen. Totalsonderingen i R4009 og R4008 viser samme boremotstand med dybde. Det er derfor antatt at laboratorieresultatene for R4009 er representativ for stabilitetsprofilen. Resultatene fra totalsonderingene bekrefter at skjærfastheten er koteavhengig. SINTEF har utført analyser med programmet SLIDE Ver.7.0. Analysene er utført både for udrenert og drenert situasjon. SINTEF har benyttet et udrenert direkte skjærstyrkeprofil $c_{ud} = 2,4 * z$ regnet fra kote +82,4 i sine analyser. Profilet for skjærfasthet er basert på en styrelinje gjennom verdier av skjærfasthet for konus og enaksiale trykkforsøk. Det valgte profilet gir lav skjærstyrke for høy koteverdi, men dette har ingen signifikant betydning for sikkerhetsfaktoren fordi området med lav skjærstyrke gjelder en veldig liten del av skjærflaten. Det er lite trolig at gravearbeidet har påvirket skjærfastheten ved på- og avlasting av masser. Programmet SLIDE gir mulighet for å legge inn anisotrop styrkeprofil (ADP) for udrenert leire. Materialparametere benyttet i stabilitetsanalysene er vist i Tabell V-1. Anisotropifaktorer for aktiv, direkte og passiv (ADP) del av skjærflata benyttet i analysene med SLIDE er vist i Tabell V-2, og er nasjonalt anbefalte verdier for leire med lav plastisitet. Figur V-2 viser en sammensetning av boreprofilene R4005 og R4009 i forhold til kotehøyde. En tolking av styrkeprofil for direkte skjærfasthet (c_{ud}) som inntegnet i Figur V-2 med rød strek.

Kote 73,2
R4005

Kote 60,9
R4009



Figur V-2. Tolking av dybdeprofil for direkte udrenert skjærfasthet (c_{UD}) fra boreprofil.















Tabell V-1. Materialparametere brukt i SINTEFs analyser av stabilitet.

Materiale	Romvekt, γ (kN/m ³)	Friksjonsvinkel, ϕ (°)	Attraksjon, a (kN/m ²)	Skjærfasthet, c_{uD} (kN/m ²)	ADP-faktor (-)
Topplag/ fyllmasser	19,5	30	0	-	-
Sand	20,0	33	0	-	-
Silt	20,7	31	0	-	-
Leire	19,5	30	5	$c_{uD}=2,4 \cdot z^*$	$c_{uD}/c_{uA}=0,63$ $c_{uP}/c_{uA}=0,35$
Sprengstein	19,0	42	5	-	-

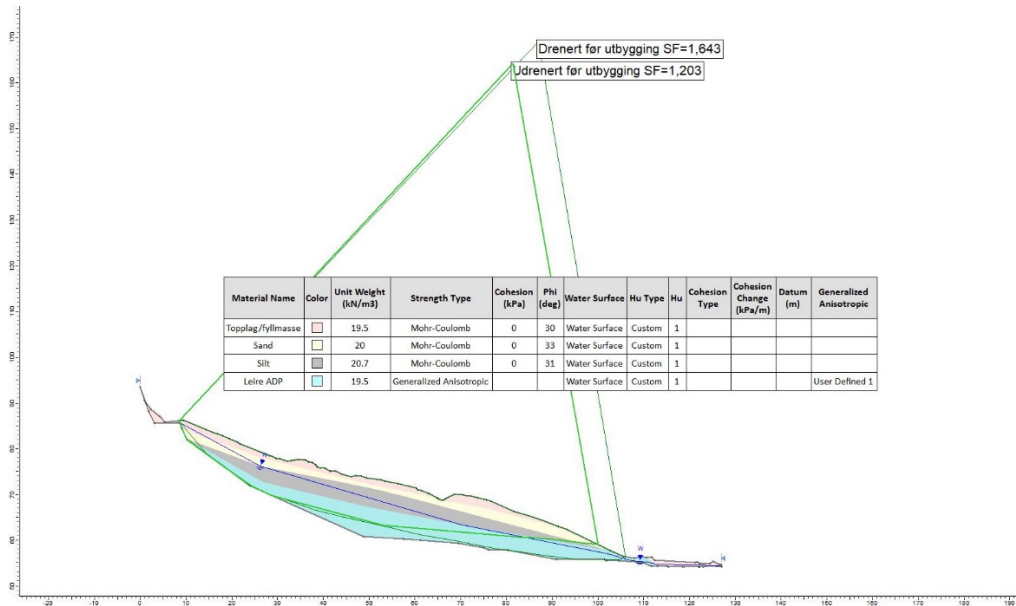
*z=0 ved kote +82,4

Tabell V-2 viser materialparametere som er brukt i stabilitetsanalysene med SLIDE. Modellering med ADP i SLIDE er gjort ved å tilegne verdier for retningsvinkelen av skjærflata for aktiv, direkte og passiv sone. Dette vises som "cohesion change" i Tabell V-2.

Tabell V-2. Materialparametere brukt i stabilitetsanalyser med SLIDE.

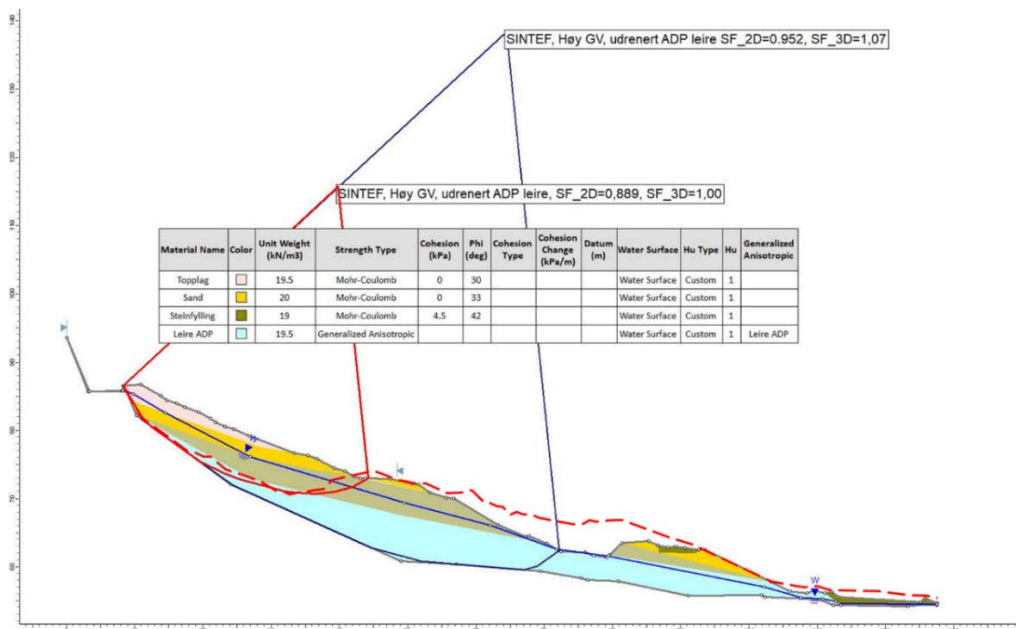
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Cohesion Type	Cohesion Change (kPa/m)	Datum (m)	Water Surface	Hu Type	Hu	Generalized Anisotropic
Topplag		19.5	Mohr-Coulomb	0	30				Water Surface	Custom	1	
Sand		20	Mohr-Coulomb	0	33				Water Surface	Custom	1	
Steinfylling		19	Mohr-Coulomb	4.5	42				Water Surface	Custom	1	
Leire ADP		19.5	Generalized Anisotropic						Water Surface	Custom	1	Leire ADP
Leire sua1		19.5	Undrained	0		FDatum	3.81	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sua2		19.5	Undrained	0		FDatum	3.62	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sua3		19.5	Undrained	0		FDatum	3.28	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sud1		19.5	Undrained	0		FDatum	2.86	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sud2		19.5	Undrained	0		FDatum	2.4	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sud3		19.5	Undrained	0		FDatum	2.06	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sup1		19.5	Undrained	0		FDatum	1.71	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sup2		19.5	Undrained	0		FDatum	1.45	82.4	Water Surface	Custom	0	
Leire sup3		19.5	Undrained	0		FDatum	1.33	82.4	Water Surface	Custom	0	
Svak silt		20.7	Mohr-Coulomb	0	31				Water Surface	Custom	1	

Analysen av stabilitet før utbygging er vist i Figur V-3. Resultatene fra stabilitetsberegningene før endringer i terrenget viser at sikkerhetsfaktoren for langtidssituasjon (drenert) er 1,6, mens den for korttidssituasjon (udrenert) er 1,2.



Figur V-3. Resultater fra drenert og udrenert analyse i profil langs hovedbanen for skredet 4. mai 2022 før gravearbeid (SINTEFs beregninger).

Analysen av stabilitet utført med SLIDE for udrenert leire i profil langs hovedbanen for skredet 4. mai med topografi før skred er vist i Figur V-4. De utførte stabilitetsberegningene gir en sikkerhetsfaktor på 0,89 for den korte skjærflate og 0,95 for en skjærflate som strekker seg ned til foten av skråningen der de to anleggsveiene krysser hverandre. Det antas at 3D-effekt vil øke sikkerhetsfaktoren med 10-14 % (i snitt 12%). Dette vil gi en gjennomsnittlig sikkerhetsfaktor for kort og lang skjærflate på hhv. 1,0 og 1,06. Analysene viser at skredet ikke involverte hele skråningen, men den øverste delen av skråningen. Kritisk skjærflate sammenfaller godt med oppmåling av skredets geometri (se rød stiplet strek i Figur V-4).

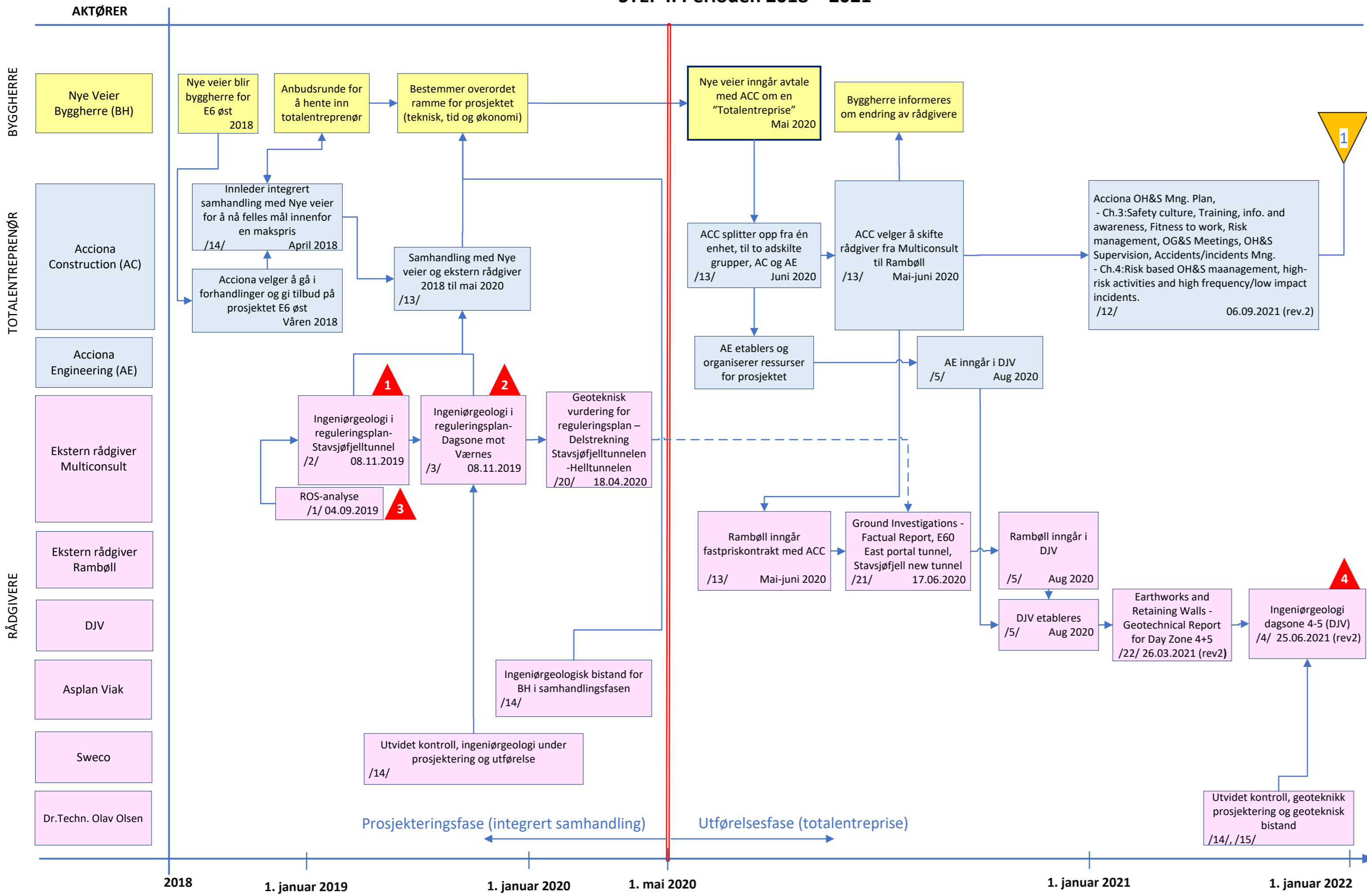


Figur V-4. Resultater fra SINTEFs analyser utført med SLIDE for udrenert leire i profil langs hovedbanen for skredet 4. mai for topografi før skred. Kritisk skjærflate fra analyse (hel rød strek), og global skjærflate fra analyse (svart strek). Skredgropa og skredmassenes utbredelse i profilet er vist med rød stiplet strek.

Vedlegg 4: STEP-diagram

- **STEP I: Perioden 2018 – 2021**
- **STEP II: Perioden 1. januar – 14. april 2022**
- **STEP III: Perioden 15. april - 22. april 2022 (hendelsesforløp – del I)**
- **STEP IV: Perioden 23. april - 4. mai 2022 (hendelsesforløp – del 2)**

STEP I: Perioden 2018 – 2021



- ▲ Utfordringer/Mulige sikkerhetsproblemer**
1. Rapport påpeker at det er mulig utløpsområde for jord- og flomskred rundt eksisterende påhugg Stavsjøfjelltunnel øst langs vegbanen østover /2/.
 2. Flere registreringer av drypp og vannsig fra bergskrent i sørvestre hjørne av prosjektert påhugg /3/. Registrert isdannelse vinterstid.
 3. ROS-analyse /1/ påpeker at påhugg Stavsjøfjelltunnel øst er skredzone som kan utgjøre risiko for omkringliggende områder.
 4. Observert leire i overgang mellom fjellskråning og utfylt område ved påhugg Stavsjøfjelltunnel øst /4/.

Forkortelser og tegnforklaringer:

BH: Byggherre
 ACC: Acciona
 AE: Acciona Engineering
 AC: Acciona Construction
 DJV: Design Joint Venture (Rambøll + Acciona Engineering)
 UE: Underentreprenører

▼ Overføringssymbol (mellom sider)

/1/, /2/, osv.: Henviing til referanse i liste bakerst i vedlegget.

STEP II: Perioden 1. januar – 14. april 2022

AKTØRER

BYGGHERRE

Nye Veier
(BH, prosjekt-organisasjonen)

Byggherre reviderer sin SHA-plan
(rev. 1.8)
/6/
11.03.2022

TOTALENTREPRENØR

Acciona
Construction (AC)

Acciona
Engineering (AE)

RÅDGIVERE

DJV

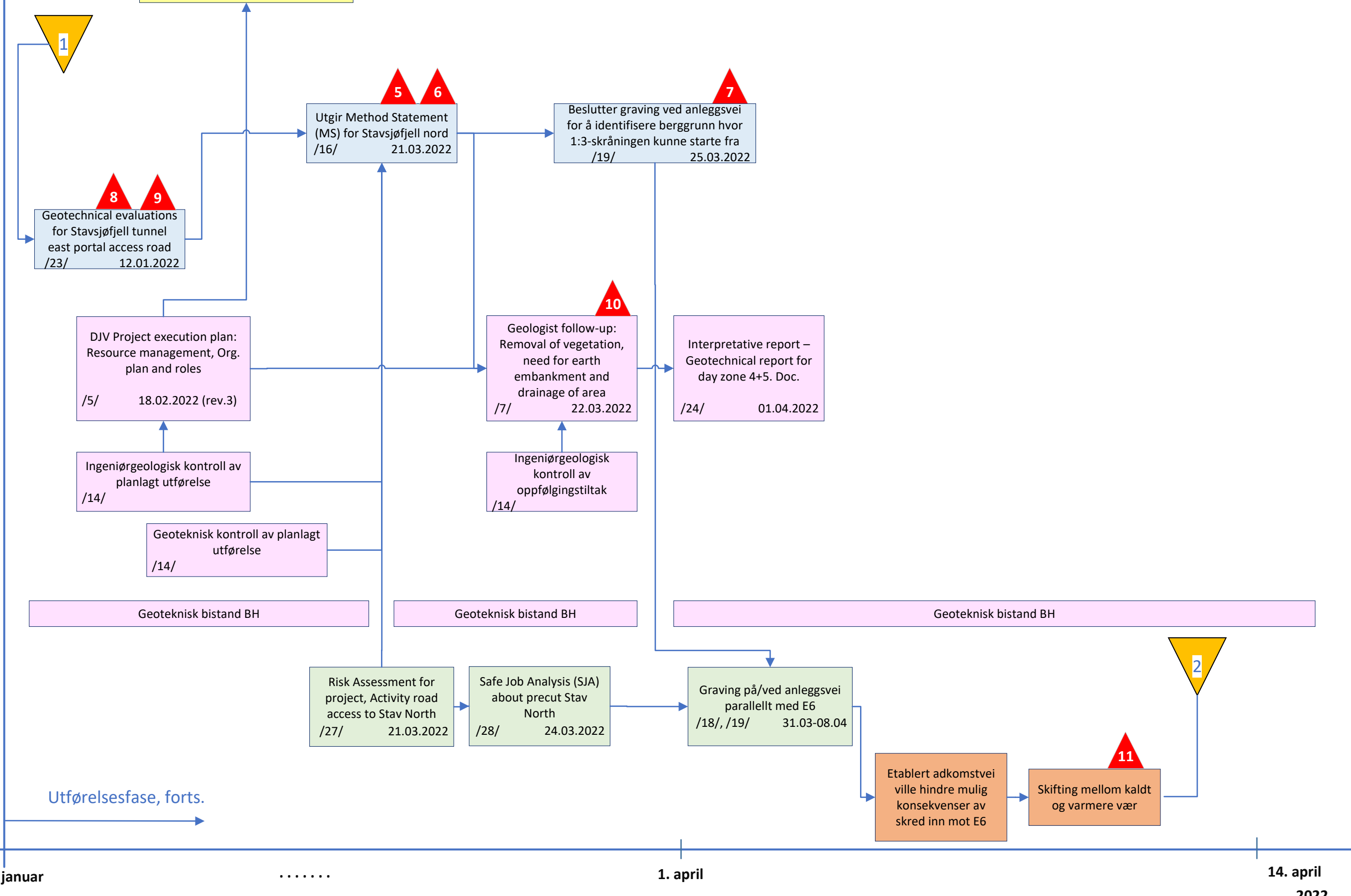
SWECO

AFRY

UNDERENTREPRENØRER

Br. Bjerkli

Fysiske/
naturgitte forhold



▲ Utfordringer/mulige sikkerhetsproblemer

5. Liten involvering av UE i detaljplanlegging og utforming av Method Statement (MS) /18/.
6. Totalentreprenør har ikke dokumenterte farekartlegginger og risikovurderinger av skredfaren i sammenheng med MS /16/, og om det her skiller tydelig nok på SJA og risikoanalyse av skredfaren ved utarbeidelse av graveplan.
7. Graving i gropa ved anleggsvei fraviker prinsippet om å ta ned massene ovenfra for å oppnå 1:3 (beskrevet i siste versjon av MS). Tidligere versjon av MS foreskrev at utgraving av masser kunne skje nedenfra /18/, /19/.
8. Antagelser om nivå på grunnvannstand i geoteknisk modell i /23/ gir inntrykk av en høyere sikkerhetsfaktor mot skred enn hva som reelt var tilfellet.
9. Notatet om stabilitet av anleggsveien ble ikke varslet i PIMS slik at det kunne ha blitt utført utvidet, uavhengig kontroll. Den delen av anleggsveien som var prosjektert i portalområdet skulle ha vært klassifisert i konsekvensklasse 3 (CC3), noe som ville ha ført til at notatet hadde blitt forelagt for utvidet kontroll.
10. Rapport /7/ beskriver anbefalte tiltak etter geologisk inspeksjon av AC og DJV, 21.03.2022.
11. Skifting mellom kaldt og varmere vær medfører labil grunn som følge av høy grunnvannstand.

Forkortelser og tegnforklaringer:

BH: Byggherre
 AE: Acciona Engineering
 AC: Acciona Construction
 DJV: Design Joint Venture
 MS: Method Statement
 PIMS: Process Information Management Systems
 SHA: Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø
 SJA: Sikker Jobb-analyse
 UE: Underentreprenører

▼ Overføringsymbol (mellom sider)

/1/, /2/, osv.: Henvising til referanse i liste bakerst i vedlegget

STEP III: Perioden 15. april - 22. april 2022 (hendelsesforløp – del I)

AKTØRER

BYGGHERRE

Nye Veier
(BH, prosjekt-organisasjonen)

TOTALENTREPRØR

Acciona Construction
(AC)

Acciona
Engineering (AE)

UNDERENTREPRØRER

Br. Bjerkli

Mesta

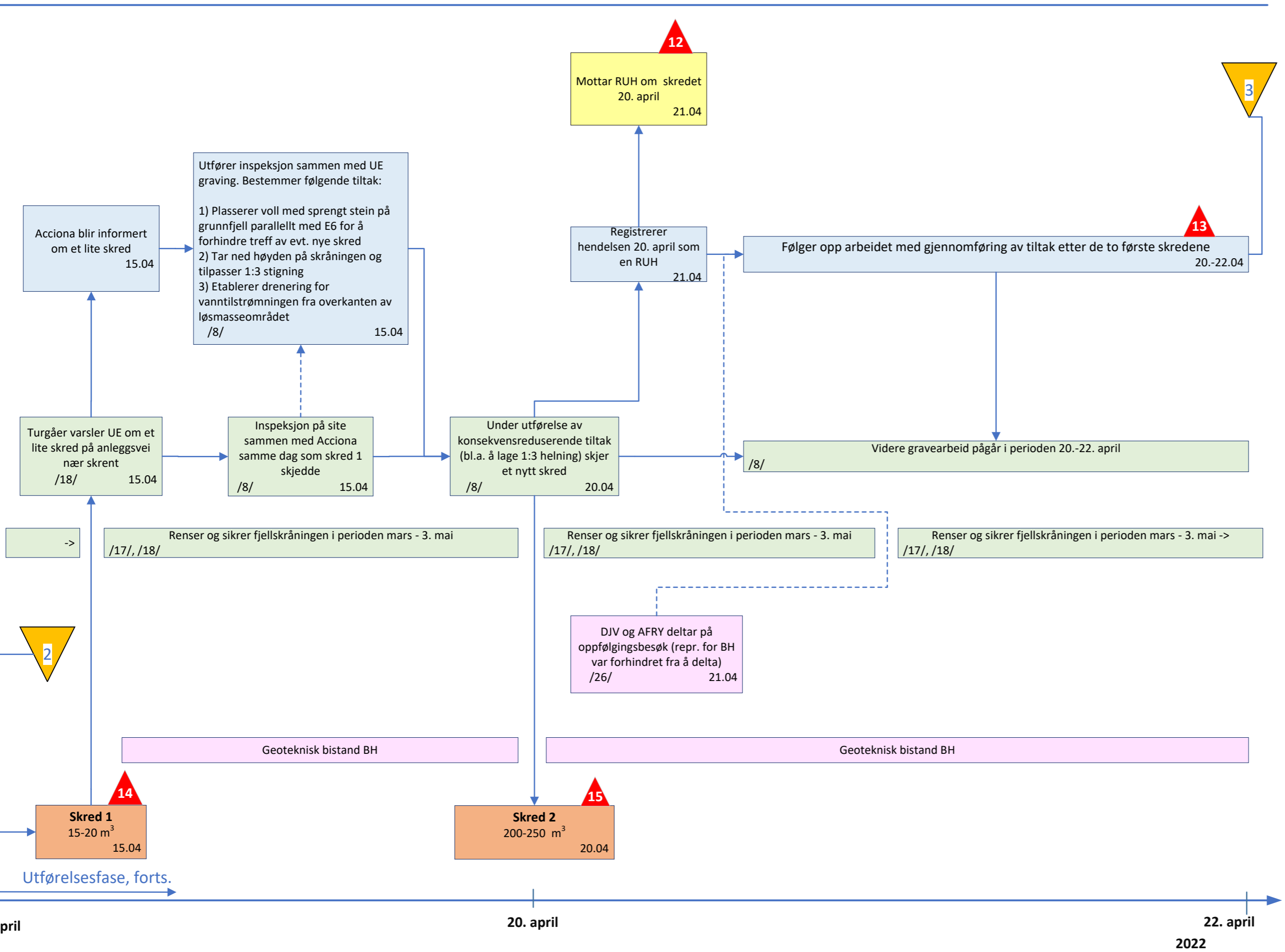
DJV

AFRY

RÅDGIVERE

Dr.Techn. Olav Olsen

Fysiske/
naturgitte forhold



▲ Utfordringer/mulige sikkerhetsproblemer

12. De to skredhendelsene 15. og 20 april ble registrert som RUH, men alvorlighetsgraden var ikke tydelig i registreringen, og byggherren undersøkte derfor ikke skredene nærmere. Alvorlige hendelser skal i henhold til varslingsplan varsles direkte på telefon til prosjektsjef og byggeleder hos byggherre, men dette ble ikke gjort.

13. Skredet som gikk 20. april klassifiseres som en alvorlig hendelse (nivå 5) hos Acciona, men ingen nye stabilitets- og risikovurderinger foretas som følge av denne hendelsen.

14. Skred 1 ble utløst av en kombinasjon av i) teleløsning og ii) påført last fra masser i anleggsveien.

15. Skred 2 ble utløst på grunn av en kombinasjon av: i) økt teleløsning, ii) økt vanntilførsel fra snøsmelting og regn, som til sammen ga høyere grunnvannstand i andre halvdel av april, og iii) påført last fra masser i anleggsveien.

Forkortelser og tegnforklaringer:

BH: Byggherre
 AE: Acciona Engineering
 AC: Acciona Construction
 DJV: Design Joint Venture
 RUH: Rapport om uønsket hendelse
 UE: Underentreprenører

▼ Overføringssymbol (mellom sider)

/1/, /2/, osv.: Henvisning til referanse i liste bakerst i vedlegget

STEP IV: Perioden 23. april - 4. mai 2022 (hendelsesforløp – del 2)

AKTØRER

BYGGHERRE

Nye Veier
(BH, prosjekt-organisasjonen)

TOTALENTREPRØR

Acciona Construction
(AC)

Acciona
Engineering (AE)

UNDERENTREPRØRER

Br. Bjerkli

Mesta

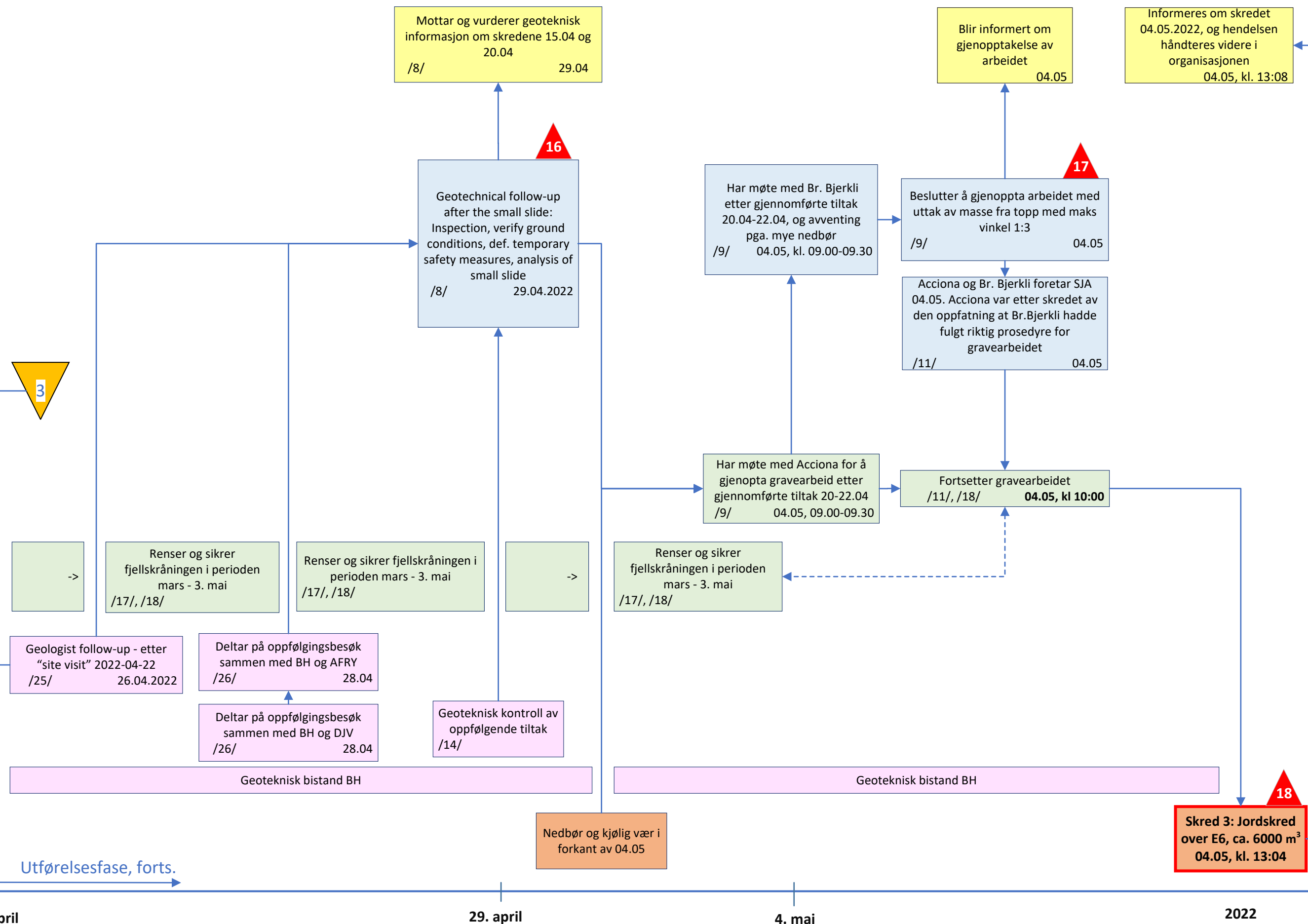
RÅDGIVERE

DJV

AFRY

Dr.Techn. Olav Olsen

Fysiske/
naturgitte forhold



▲ Utfordringer/mulige sikkerhetsproblemer

16. Uklart hvorfor "geoteknisk follow-up" (29.04) /8/ ikke fanger opp faren for "rotasjonsskred" som også involverer leire.

17. Ingen risikovurdering som kunne vurdert betydningen av de to foregående skredene blir lagt til grunn for beslutningen om å gjenoppta gravearbeidet /9/.

18. Skred 3 ble utløst av en kombinasjon av i) labil grunn som følge av høy grunnvannstand, ii) påført last fra fyllmassene og iii) belastningen fra selve gravemaskinen.

Forkortelser og tegnforklaringer:

BH: Byggherre
ACC: Acciona
AE: Acciona Engineering
AC: Acciona Construction
DJV: Design Joint Venture
SJA: Sikker Jobbanalyse
UE: Underentreprenører

▼ Overføringssymbol (mellom sider)

/1/, /2/, osv.: Henvising til referanse i liste bakerst i vedlegget

Referanser til STEP-diagram:

- /1/ Risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) til reguleringsplaner for strekningen Leistad - Helltunnelen - Hellstranda i Malvik og Stjørdal kommuner, kap. 1.3 (avgrensing mot bl.a. SHA) og analyse s. 24. Dok. Nr: E6RV-MUL-ZP-RPT-CA#00-0003. Multiconsult, 04.09.2019.
- /2/ Ingeniørgeologisk rapport for reguleringsplan - Stavsjøfjelltunnelen, kap. 3.6.2 og 8.2.2. Dok. Nr: E6RV-MUL-GE-RPT-CAB11-0004. Multiconsult, 08.11.2019.
- /3/ Ingeniørgeologisk rapport for reguleringsplan - Dagsone Stavsjøfjelltunnelen-Værnes, kap 3.1.4. Dok. Nr: E6RV-MUL-GE-RPT-CAH13-0005. Multiconsult, 08.11.2019.
- /4/ Engineering geological report - Day zone 4-5, kap. 6 Geohazards, kap. 5.1: Rock cut and ground conditions. Doc. No: E6RV-DJV-GE-RPT-DZ45-0001. Rambøll/RAJV, 25.06.2021, og etter "review": 08.04.2022
- /5/ DJV PROJECT EXECUTION PLAN, kap. 2.3 og 3.7 om Resource management/Project org. plan/Roles. Dok. No: E6RV-DJV-DS-PLN-ALZN-0001, Design Joint Venture (DJV), 18.02.2022.
- /6/ Byggherrens plan for sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA-plan), NV E6 Ranheim - Værnes (Rev. 1.8), kap. 2.1 (om integrert samhandling i prosjekteringsfase og totalentreprise i gjennomføringsfase), kap. 2.1: org kart, kap. 4: Endringshåndtering, kap. 5.1: Risikoforhold og tiltak om Tema 1&2: språk/kulturforskjeller, Tema 4&5: grunnforhold/masseutskifting. Nye Veier, 11.03.2022.
- /7/ Geologist follow-up - New Stavsjøfjell Tunnel East Entrance, kap 5: Recommended measures to be taken (at site), kap.6 Other future evaluations. Doc. No. E6RV-DJV-GE-MEM-NT02-0003. RAJV, rev. 01, 22.03.2022.
- /8/ Geotechnical follow-up support Stavsjøfjell East Tunnel entrance soil temporary excavation. Kap. 2 Scope (analysis of small slide.), kap. 5: Small slide (fig. 3) på s.5 "The excavation of the old trench/preferential water zone, due to the fact that the embankment of the access ramp, had a slope with a dip greater than 1:3. The water flowed from the interior of the ground towards the surface". Kap. 6: Decision of work after site visit 15th April (reduced slope, execution of drainage, etc.). Kap. 8 Future works "With the slopes stabilized, the excavations will be resumed from the top to the bottom of the slopes, respecting the 1:3 slope". Doc. No. E6RV-ACC-GT-MEM-DZ45-0052. Acciona, 29.04.2022.
- /9/ MINUTES OF MEETING, Re-start of works for soil cut Stavsjøfjell North. Acciona and Br. Bjerkli, 04.05.2022, kl. 9.00-9.30.
- /10/ Geoteknisk vurdering i forbindelse med utglidning ved Stavsjøfjell tunnelportal øst. Kap 2.1 Forløp av skredmasser. «Grunnlag og observasjoner tilsier at skredet har gått som et rotasjonsskred på oversiden av E6, der omrørte, bløte masser har blitt skylt ut over E6». Rambøll, 08.05.2022.
- /11/ Incident report. Intervju av involverte om aktiviteter umiddelbart i forkant av raset 4. mai (Ref. 20220504 Bjerkli), Acciona, 19.05.2022.
- /12/ OH&S Management Plan, kap 2.2: Purpose and scope (Acciona). Kap 3&4 OH&S Objectives (incl. Safety culture), Risk Management and Strategy. Kap. 5.13: Deviation Management System "See E6RV-ACC-HS-PLN-ALZN-0006: Deviation Manag. System". Doc. No. E6RV-ACC-HS-PLN-ALZN-0011 (rev. 03). Acciona, 30.05.2022.
- /13/ Notater fra intervju, 23.06.2022.
- /14/ Epost, og telefonsamtale, 04.10.2022.
- /15/ Notater fra intervju, 05.07.2022.
- /16/ Construction Method Statement "Precut of Stavsjøfjell North Tunnel". Doc. No. E6RV-ACC-CD-TSP-DZ45-0238. Acciona, 21.03.2022.
- /17/ Companies involved in the relevant area. Dok. Nr. E6RV-ACC-CL-RPT-DZ45-0023. Acciona/Nye Veier (dok. logo i Header), 30.06.2022.
- /18/ Notater fra intervju, 06.09.2022.
- /19/ Notater fra intervju, 07.07.2022.
- /20/ Geoteknisk vurdering for reguleringsplan – Delstrekning Stavsjøfjelltunnelen-Helltunnelen. Dok. Nr. E6RV-MUL-GT-RPT-CA#00-0004 (rev. 04). Multiconsult, 18.04.2020.
- /21/ Ground Investigations - Factual Report, E60 East portal tunnel, Stavsjøfjell new tunnel. Report nr. G-rep-E60-01 (rev. 00). Rambøll, 17.06.2020.
- /22/ Earthworks and Retaining Walls - Geotechnical Report for Day Zone 4+5. Doc. No: E6RV-DJV-GT-RPT-DZ045-0003 (rev. 02). Design Joint Venture (DJV), 26.03.2021.
- /23/ Geotechnical evaluations for Stavsjøfjell tunnel east portal access road. Doc. No: E6RV-TEC-GT-MEM-DZ45-0027 (rev. 01). Acciona Engineering, 12.01.2022.
- /24/ Interpretative report – Geotechnical report for day zone 4+5. Doc. No: E6RV-DJV-GT-RPT-DZ45-0001 (rev. 05). Design Joint Venture (DJV), 01.04.2022.
- /25/ Geologist follow-up - New Stavsjøfjell Tunnel East Entrance (etter "site visit" 2022-04-22), kap 5: Recommended measures to be taken (at site), kap.6.1 og 6.2 Other evaluations incl. Water drainage. Doc. No. E6RV-DJV-GE-MEM-NT02-0003. RAJV, rev. 02, 26.04.2022.
- /26/ Tilsynsrapport – tilbakemelding. Brev ref. E6RV-LET-ACC-ART-0004. Kommentarer og supplerende informasjon til Arbeidstilsynets rapport. Acciona, 25.08.2022.
- /27/ Risk Assessment for project DZ 4, 5, 6 Activity Road Access to Stav North. Brødrene Bjerkli, approved/signed, 21.03.2022.
- /28/ Safe Job Analysis (SJA) about precut Stav North. Scalling, soil cut, rock cut and rock fill. Brødrene Bjerkli, 24.03.2022.



SINTEF

Teknologi for et bedre samfunn