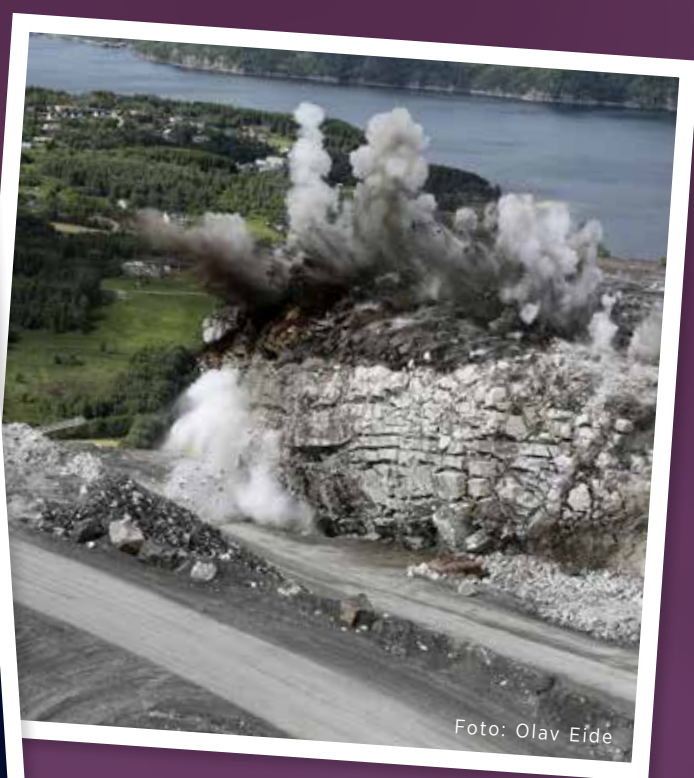


2020

FJELLSPRENGNINGSDAGEN

Oslo, 26. november 2020



ARRANGØRER:



NFF



Tekna

FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

Oslo, 26. november 2020

Arrangør:

Norsk forening for fjellsprengeteknikk (NFF)

Redaksjon:

Stein Bjøru, Siri Engen

C Forfatterne, 2020

ISBN: 978-82-8208-075-0

Fjellsprenningsdagen

26. november 2020

Arrangør: *Norsk forening for fjellsprenningsteknikk (NFF)*

FORORD

Året 2020 ble et spesielt år, Covid 19 / Coronaviruset gjorde sitt til at konferansen ble en hel-digital begivenhet og det var kun Fjellsprengningsdagen som ble avholdt - i en forkortet og digital utgave.

Boken inneholder referat fra foredrag presentert på Fjellsprengningsdagen 26. november. Presentasjonene ble enten holdt direkte fra Royal Garden Hotel i Trondheim, eller foreleser holdt presentasjonen direkte – men var enten hjemme eller på kontoret. Eller så var presentasjonen spilt inn på forhånd og ble vist på angitt klokkeslett. Noen innlegg ble også gjort tilgjengelig på web fra møtestart.

Årets arrangement er det 58. i rekken og emnene er i likhet med tidligere års valg, hentet fra en rekke områder som faller inn under interesseområdet til Norsk forening for fjellsprenningsteknikk (NFF).

Programmet for årets arrangement er fastlagt og godkjent av foreningens styre.

Arrangørene vil takke alle medvirkende forfattere for den innsatsen som er nedlagt i utarbeidelsen av forelesningene og referater. Den enkelte forfatter er ansvarlig for foredragets innhold, ortografi og billedmateriale.

Norsk forening for fjellsprenningsteknikk



FJELLSPRENGNINGSDAGEN TORSDAG 26. NOVEMBER 2020

Programkomite:

Stein H. Bjøru, Veidekke Entreprenør
Heidi Berg, Trimble
Kjersti Kvalheim Dunham, Norconsult AS
Vegard Olsen, Forcit Norway AS
Torgeir Sandøy, Norconsult AS
Werner Stefanussen, Rambøll AS

Møteleder: Stein H. Bjøru, Veidekke Entreprenør

- 0900 1. **Velkommen – Åpning**
Anne Kathrine Kalager, BaneNOR, styreleder NFF
- 0925 2. **Seriøsitet i byggenæringen**
Funn fra Krimenheten fra Statens vegvesen
Jon Molnes, Statens vegvesen
- 0945 3. **E18 – Rasrapporten – Hva har vi lært?**
Ingunn Foss, Statens vegvesen
- 1005 **Pause og nettverksbygging**
- 1015 4. **Alunskifer og svartskiferholdige løsmasser. OPS Rv 3 / 25**
Lars Morten Bjerkeli, Skanska Norge
- 1035 5. **Dagbruddstabilitet i Norcem Kjøpsvik**
Sverre Paulsen Thoresen, Rambøll AS
- 1055 6. **Vurdering av utført berginjeksjon i norske tunnelprosjekter, presentasjon av resultater fra PhD og TIGHT-prosjektet**
Helene Strømsvik, SINTEF
- 1115 **Pause og nettverksbygging**
- Møteleder: Werner Stefanussen, Rambøll AS**
- 1130 7. **Nordøyvegen, prosjektpresentasjon**
Marianne Nærø, Møre og Romsdal fylkeskommune
- 1150 8. **Rehabilitering Tyholt-tunnelen – etterinjeksjon**
Endre Kjærnes Øen, Rambøll AS
- 1210 **Lunsj og nettverksbygging**
- 1255 9. **Boltehandboken**
Roar Sve, Skanska Norge AS

- 1305 10. **Håndbok for bergsprengere**
Tone Nakstad, NFF
- 1315 11. **Tunneloppgradering i Oslo – status og erfaringer**
Elin Hermanstad Havik, Statens vegvesen
- 1335 12. **Livssyklusanalyse og miljødeklarasjon av sprengstoffer**
Niclas Nilsson, Forcit Sverige AB
- 1350 **Pause og nettverksbygging**
- 1400 13. **Nye metoder for vann- og frostsikring**
Rolf Jakobsen, Foamrox
- 1415 14. **Fremtidens produkter – miljø og effektivitet**
Peder Andersen, AMV
- 1430 15. **Kåring av vinnere i Fotokonkurransen**
Arve Brekklus, Byggeindustrien, Kjersti K. Dunham, Norconsult
- 1450 **Avslutning ved møteleder - og nettverksbygging fortsetter**

Tilgjengelig på nettet hele dagen:

16. **E39 Kristiansand vest – Mandal øst – digitalisering**
Gjermund Dahl, Norconsult AS
17. **Erfaringer etter tre år med elektroniske tennere i norske tunneler**
Espen Hugaas, Orica Norway AS
18. **TBM-masse – karakterisering og potensiale for nyttiggjøring, på land og i sjø**
Jenny Langford, NGI
19. **Historisk innlegg – Sulitjelma – et spesielt gruvesamfunn**
Per Bollingmo

DEL I FJELLSPRENGNINGSDAGEN 2020

- 1. Velkommen – Åpning**
Anne Kathrine Kalager, BaneNOR, styreleder NFF
- 2. Seriositet i byggenæringen -
Krimenheten fra Statens vegvesen**
Jon Molnes, Statens vegvesen
- 3. Raset på E18 ved Larvik – Hva har vi lært?**
Ingunn Foss, Statens vegvesen
- 4. Alunskifer og svartskiferholdige løsmasser. OPS Rv 3 / 25 prosjektet**
Lars Morten Bjerkeli, Andreas Olaus Harstad, Skanska Norge
- 5. Dagbruddstabilitet i Norcem Kjøpsvik**
Sverre Paulsen Thoresen, Rambøll AS
Steinar Løve Ellefmo, Charlie Chunlin Li, NTNU
- 6. Vurdering av utført berginjeksjon i norske tunnelprosjekter,
presentasjon av resultater fra PhD og TIGHT-prosjektet**
Helene Strømsvik, SINTEF
- 7. Nordøyvegen, prosjektpresentasjon**
Marianne Nærø, Møre og Romsdal fylkeskommune
- 8. Rehabilitering Tyholt-tunnelen – etterinjeksjon**
Endre Kjærnes Øen, Rambøll AS
- 9. Boltehåndboken**
Roar Sve, Skanska Norge AS
- 10. Håndbok for bergsprengere**
Tone Nakstad, NFF
- 11. Tunneloppgradering i Oslo – status og erfaringer**
Elin Hermanstad Havik, Statens vegvesen
- 12. Livssyklusanalyse og miljødeklarasjon av sprengstoffer**
Niclas Nilsson, Forcit Sverige AB
- 13. Nye metoder for vann- og frostsikring**
Rolf Jakobsen, Foamrox
- 14. Fremtidens produkter – miljø og effektivitet**
Peder Andersen, AMV
- 15. Kåring av vinnere i Fotokonkurransen**
Arve Brekkhus, Byggeindustrien, Kjersti K. Dunham, Norconsult

16. E39 Kristiansand vest – Mandal øst – digitalisering

Gjermund Dahl, Norconsult AS

17. Erfaringer etter tre år med elektroniske tennere i norske tunneler

Espen Hugaas, Torodd Kolbergsrud, Orica Norway AS

**18. TBM-KAKS – karakterisering og potensiale for nyttiggjøring,
på land og i sjø**

Jenny Langford, Gunvor Baardvik, Espen Eek, NGI

Marianne Dahl, Statens vegvesen,

Fredrikke Syversen, Ingjerd Mørck, Leon Eide, Oslo kommune VAV

19. Historisk innlegg – Sulitjelma – et spesielt gruvesamfunn

Hilde Mangset Lorensen, NRK Nordland

Per Bollingmo

Anne Kathrine Kalager, Bane NOR
Styreleder i Norsk forening for fjellsprenningsteknikk

ÅPNING - VELKOMMEN

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

SERIØSITET I BYGGENÆRINGEN - KRIMENHETEN STATENS VEGVESEN

Jon Molnes, leder av Krimenheten Statens vegvesen

SAMMENDRAG

Myndighetene, arbeidsgiver- og arbeidstakerorganisasjonene, bransjeaktører m.fl. står samlet i kampen mot arbeidslivskriminalitet. Statens vegvesen har etablert en egen krimenhet for å styrke innsatsen innenfor sitt samfunnsoppdrag. Utfordringene har vist seg å være betydelige og utfordrer markedet og arbeidslivet.

Funn og kunnskap så langt gir grunn til å reflektere rundt hva som er god forretningsskikk og forretningsskikkens grensegang mot useriøs og kriminell aktivitet. Videre om hvordan markedet kan kategoriseres med tanke på etterlevelse av lover og regler, og om det er et misforhold mellom hva vi sier om seriøsitet og det vi faktisk gjør – noen ganger.

INNLEDNING

Jeg vil bruke tildelt tid til å reise et par spørsmål og dele noen refleksjoner – sett fra mitt ståsted, som bygger på erfaringer fra de funn og den kunnskap jeg har fått som leder av krimenheten i Statens vegvesen.

Formålet med økten er å gi oppspill til refleksjon og forhåpentligvis senere diskusjon.

Overordnet først. Det er verdt å merke seg at Stortinget, Regjeringen, arbeidsgiver- og arbeidstakersiden, bransjeaktører og mange andre interessenter står samlet i innsatsen mot arbeidslivskriminalitet. Det er et betydelig omfang av tiltak, og i front er Regjeringen sin strategi mot arbeidslivskriminalitet.

Definisjonen av arbeidslivskriminalitet favner vidt, videre enn mange tror. Den kan også gjøres gjeldende for handlinger som bryter mot regler som regulerer næringsvirksomhet eller tekniske krav, siden det kan virke konkurransevridende, samt kunne innebære en fare for forbrukere eller andre.

Siden høsten 2017 har Statens vegvesen hatt en krimenhet som har arbeidet innenfor vegområdet. Krimenhetens formål er å bidra til å forebygge, dokumentere og avdekke useriøs og kriminell aktivitet innenfor Statens vegvesen sitt samfunnsoppdrag. Etableringen skyldes dessverre at vegvesenet har sett det nødvendig å ha kapasitet og kompetanse, til å utrede faktum i problemstillinger knyttet til useriøsitet og kriminalitet. Vi er en bistandsenhet, eller ressursenhet om man vil, til de ulike divisjonene som Utbygging, Drift og vedlikehold eller Trafikant- og kjøretøy.

OM USERIØS OG KRIMINELL HANDLING

Hva mener vi så med useriøs og en kriminell handling?

I all enkelthet så kan vi si at useriøse aktører har en gjennomgående manglende vilje eller evne til å følge de regler som gjelder for arbeidslivet og samfunnet ellers. Motivasjonen for manglende etterlevelse handler alltid om penger og målet om å maksimere profit. Handlingene blir kriminelle når bestemmelser/lover som er belagt med en straffetrussel brytes. For eksempel har arbeidsmiljøloven bestemmelse om straff.

Allerede her reiser det seg et nødvendig spørsmål til refleksjon:

Hvorfor har vi som samlet bransje havnet i en situasjon hvor vegvesenet finner det nødvendig å ha en egen krimenhets, med spesialisert kompetanse innenfor etterretning (informasjonsbehandling), analyse og utredning for å kunne møte de utfordringer vi ser i markedet?

Bruk nå noen sekunder på å reflektere over dine umiddelbare tanker til spørsmålet.

OM GOD FORRETNINGSSKIKK

Jeg undres mang en gang på hva vi i bransjen legger i begrepet «god forretningsskikk», og når handlinger som foretas som del av forretningen - i en allmenn forståelse, eller av bransjen selv, vil oppfattes som useriøs. Er det for eksempel mulig å trekke opp noen grenser for hva som er useriøst innenfor den etablerte forretningsskikken?

God forretningsskikk for meg er basert på verdier som redelighet, tillit og profesjonalitet. Min opplevelse er at forhold jeg mener er å anse som useriøse, til dels har fått slå rot innenfor den forretningsskikken som gjelder for vår bransje. Jeg mener virkelig ikke med det å si at alt er feil. Det meste er bra. Men jeg er samtidig bekymret for utviklingen. Bekymret for om forståelsen, kulturen og ved det rammene for god forretningsskikk er i for stor endring.

Hvorfor er jeg så opptatt av dette? Fordi god forretningsskikk er et avgjørende premiss hva gjelder å få - og ikke minst bevare, en sunn næring og et sunt arbeidsmarked. Ivaretagelse og videreutvikling av den gode forretningsskikken løses ikke av en part alene – her har vi alle, uavhengig av hvor du og jeg befinner oss i organisasjonen et felles ansvar.

Hør nå; Det viktigste premisset for å lykkes med vernet av den gode forretningsskikken slik jeg ser det, handler mye om hva vi sier - for språk skaper virkeligheter, men det vil først materialiseres når vi i praktisk handling gjør det vi sier.

Min opplevelse er at vi mangler ikke de som sier, men vi trenger flere som gjør.

ETTERLEVELSE KAN KATEGORISERES

Aktørenes etterlevelse av de regler som gjelder for bransjen kan kategoriseres inn i det vi kaller etterlevelsepyramiden. Pyramiden består av fire nivåer hvor beskrivelse av etterlevelsen står til venstre, og tiltak for å møte etterlevelsen står til høyre.

Etterlevelsespyramiden



Figur 1. Etterlevelsespyramiden (kilde OECD)

Nederst kan vi plassere de aktører som etterlever i stor grad og har systemer som sikrer god etterlevelse også i praktisk handling. Tiltaket fra myndigheter eller byggherrer bør i dette segmentet handle om støtte, veiledning og ikke minst om å forenkle for å tilrettelegge for effektiv og lønnsom drift.

På neste trinn finner vi de har som en intensjon om å etterleve, men finner det vanskelig gitt årsaker som byråkrati, omfang av reguleringer mm., men intensjonen er gode. Tiltaket fra myndigheter eller byggherrer vil her være et gitt sett av kontroll som følges opp med råd og veiledning. Grunnen til at virkemidlene ikke er sterkere er nettopp det grunnleggende ønsket fra aktør om å etterleve – men de trenger litt hjelp.

Deretter, i gul sone, finner vi de aktører som utnytter situasjonen bevisst. De vet at det er lite kontroll, det er liten oppdagelsesrisiko og sanksjonene er små eller fraværende. Ved det så utnyttes handlingsrommet bevisst. Det er et klart faresignal for en hver bransje om det er for mange aktører i gul sone – det bidrar til å ødelegge markedet. Det fordi det etter hvert blir nærmest umulig å etablere seg i grønne soner, siden konkurransen ikke vil skje på like vilkår. Tiltaket i denne sonen handler om kontroll, oppdagelsesrisiko og reell konsekvens. Dersom vi lykkes med det så vil aktører tilpasse seg de rammene som gjelder for bransjen, men ikke før – fordi profitt trumfer etikk i gul sone.

I rød sone finner vi de aktører som har gjort tilpasninger for å fremstå som lovlydige – gjerne med en tilsynelatende «blank fasade». Videre har de tilpasset seg det eksisterende kontrollregimet for å unngå å bli avslørt. Det handler kun om å maksimere profitt så lenge man kan, og det gjøres gjerne gjennom systematiske og gjennomgående lovbrudd. Dette er aktører som må miste tilgang på markedet (pengene).

Min erfaring er at aktører i rød og gul sone, har hatt gode levevilkår fordi det har manglet en kvalifisert vokter, eller motstand om man vil – og ved det kan kriminalitet oppstå. Jeg opplever også at vi på myndighets- og byggherresiden nok har en overdreven tro på at råd og veiledning, sammen med gode argumenter rundt moral og etikk, vil føre til endring i disse

sonene. Slik er det dessverre ikke den verden som besettes av useriøse og kriminelle. Det kreves andre virkemidler i disse sonene.

Ansvarer kan ikke bare legges til byggherrene, det må også bransjen selv bidra til. Arbeidet mot arbeidslivskriminalitet krever kapasitet og kompetanse, det er tidkrevende og slettes ikke problem- eller konfliktfritt, blant annet som følge av at det brukes profesjonelle medhjelpere. Men skal vi få en sunn bransje og et sunt arbeidsmarked så er evnen og viljen til å ta den kampen helt avgjørende. Det er og et helt avgjørende premiss for at andre gode tiltak skal ha effekt.

Mange etablerte tiltak har liten eller ingen effekt nettopp fordi det ikke er etablert en oppdagelsesrisiko, det er ingen konsekvens - samtidig som det er gode muligheter for profitt. Det eksisterer dermed ingen incentiv eller grunner til at en useriøs og kriminell aktør skal endre sin virksomhet. For hvorfor skal en det? Det samme vil gjelde for kjøpere av tjenester fra slike aktører, siden det er vinn vinn for begge parter og ved det opprettholdes markedet. Virkemidler som råd, veiledning, moralske og etiske argumenter er som nevnt ugyldige ovenfor den type aktører vi her snakker om. Pengene vinner alltid. Det er det viktig å forstå når tiltak skal utformes.

KRIMENHETEN OG FUNN

Krimenheten er bygget på etterretningsprinsipper og etterretningssyklusen. Det er viktig å si at etterretning ikke er noe annet enn systematisering og behandling av informasjon og kunnskap – både fra interne og eksterne kilder. Så i den grad noen måtte tenke at dette er litt fremmed, eller for den del litt skummelt som følge av navnet, så er det altså en vel etablert metodikk innenfor mange samfunnsområdet – med sine nyanser.

Arbeidsformen og metodikken bidrar til at vi går dypere og mer målrettet inn i definerte problemstillinger. Så hva er det vi finner da?

Vi har systematisk beveget oss mellom de ulike fagområdene i vegvesenet og finner alle steder grove brudd – og med det mener jeg brudd som kan hevdes straffverdige etter ulike lover. Det er fra andre områder avsagt en rekke dommer som følge av det arbeidet vi har gjort som viser dette.

Innenfor vegområdet finner vi blant annet;

- Hendelser vedrørende miljø og som kan omtales som miljøkriminalitet.
- At dokumentasjon forfalskes for å skjule at det brukes personell uten rett kompetanse.
- At dokumentasjon forfalskes for å skjule at arbeid ikke er utført
- At det kreves betalt for arbeid som ikke er utført, eller at det kreves betalt flere ganger for samme arbeid/leveranse.
- At dokumentasjon for ulike former for mengder manipuleres, hvilket gir grunnlag for urettmessige utbetalinger.
- Grove brudd på bestemmelser om lønns- og arbeidsvilkår, herunder hva som kan omtales som lønnstyveri.
- Transportkriminalitet; hvor vi blant annet ser at varslingskjeder går på sms hos entreprenørens ansatte ved kontroll – og hvor sms'er handler om å kvitte seg med bevis.

La meg bare ta tre korte poenger til tema lønns- og arbeidsvilkår, som jeg antar dere kjenner godt til, og som står helt sentralt i arbeidet mot arbeidslivskriminalitet.

1. Vi har siden høsten 2017 gjort en lang rekke kontroller av lønns- og arbeidsvilkår over hele landet. Resultatene var innledningsvis direkte nedslående. De viste blant annet at entreprenørene hadde et stort potensial hva gjaldt å ivareta sine forpliktelser etter kontrakten.

Som dere vet er kontraktskravet at entreprenøren skal sørge for at ansatte, innleide arbeidstakere og utsendte arbeidstakere i egen og eventuelle underentreprenørers og underleverandørers organisasjon, som direkte medvirker til å oppfylle kontrakten, har lønns- og arbeidsvilkår i samsvar med bestemmelsene. Vi fant blant annet grove brudd på arbeidstidsbestemmelser, på lønnsbestemmelser, arbeidsavtaler som manglet, store mangler rundt HMS-kort mm.

Den gode nyheten er at vi opplever bedring. Det er lenger mellom de grove bruddene som vi fant tidligere. Det er bra og viser effekten av god kontroll.

2. Vi opplever fremdeles enkelte entreprenører som synes motvillige til å levere ut den dokumentasjonen de er pålagt. Videre at prosesser treneres i tid og leveransene er klart mangelfulle. Det reiser flere spørsmål, hvorav et er; hvilken betydning bør dette ha i et seriøsitetsperspektiv versus de aktører som har sitt i orden? For det skal jo lønne seg å ha ting i orden.
3. Det tredje forholdet har aktualisert seg særlig som følge av regionreformen. Det handler om arbeidstagere som flyttes mellom prosjekter og byggherrer. For eksempel ved at et skift utføres for vegvesenet hvorpå man går direkte til annet skift hos annen byggherre. Som byggherre ønsker vi å se timelister som viser totalt arbeidede timer av flere grunner, blant annet HMS, arbeidstidsreglement og overtid. Det handler om at forpliktelser er ivaretatt.

Fra mitt ståsted så undres jeg på hvilke hensyn som veier tyngst når entreprenører ikke ønsker å gi informasjon om samlet arbeidsmengde for arbeidstagere, men heller velger å gjøre det til en hjemmelsdiskusjon, altså om vi har krav på informasjonen. Om bransjen virkelig mener alvor med seriøsitetsarbeide, så finnes det ingen forbud mot å dele informasjonen. Det står man nærmest fritt til å gjøre – så hvorfor inntas en slik posisjon?

Er det her et manglende samsvar mellom det en sier og det en gjør?

Vi vet at rapporterte timer og lønn pr. kontrakt viser at alt er i orden, men når dette ses på tvers av kontrakter så fremkommer grove brudd på arbeidsmiljøloven. Vi arbeider nå med å se på regelverket, herunder behovet for eventuelle nye regler for å kunne følge opp denne situasjonen.

La meg også nevne noen andre konkrete tiltak som er i spill og som vil styrke seriøsitetsarbeidet:

1. Regjeringen reviderer for tiden sin strategi mot arbeidslivskriminalitet. Statens vegvesen har foreslått at det bør opprettes et seriøsitetsforum bestående av offentlige byggherrer for å bedre kunne møte utfordringene knyttet til arbeidslivskriminalitet. Et slikt forum vil blant annet bidra til god informasjonsflyt.
2. Regjeringen har sendt på høring et forslag om å innføre en egen straffebestemmelse for lønnstyveri og å skjerpe straffene for arbeidslivskriminalitet. I tillegg foreslås forbud mot kontantutbetalinger. Straffebestemmelsen om lønnstyveri vil brukes der arbeidsgiver på en eller annen måte beriker seg av arbeidstakers lønn eller godtgjørelse.
3. Regjeringens satsning mot arbeidslivskriminalitet kommer også til syne i et høringsforslag, som handler om at det skal bli større adgang til å dele informasjon som er omfattet av taushetsplikt mellom forvaltningsorgan.

OPPSUMMERT

Det er hver en av oss som aktører i bransjen som bestemmer hvor sunn bransje vi skal ha – vi får som regel som fortjent. Det handler om hva vi gjør – mer enn det vi sier. Min utfordring til deg blir; hva er ditt bidrag der du er?

Har du tips om useriøsitet og kriminell aktivitet, tips krimtips@vegvesen.no

Takk for meg.

Raset på E18 ved Larvik. Hva har vi lært?

Ingunn Foss, Statens vegvesen Utbyggingsdivisjonen

Sammendrag

Natt til 13. desember 2019 gikk det et ras på ca. 1100 kubikkmeter på E18 ved Larvik. Vegdirektøren nedsatte en ekspertgruppe. 28. februar 2020 leverte ekspertutvalget ledet av Bjørn Nilsen, professor i ingeniørgeologgi ved NTNU, en rapport om raset (Nilsen, 2020). «Det var en kombinasjon av flere uheldige omstendigheter som førte til utglidningen av steinblokka», skriver Nilsen i rapporten.

Nilsen og ekspertutvalget kom til at den anviste bergsikringen etter utsprenghning var mangelfull. I tillegg kan entreprenøren ha utført arbeidet med feil og mangler i forhold til anvisningen. Sikringsarbeidene ble kvalitetssikret av tredjepart. Utvalget mente at konsulenten burde påpekt at det manglet en stabilitetsanalyse, og vurdert grundigere om den anviste bergsikringen ville være tilstrekkelig.

Statens vegvesen er en lærende organisasjon. Etter ulykken har vi innført flere tiltak:

- Skjæringer > 10 meter må få et «tydeligere fokus» med registrering av profilnummer fra og til. Følges opp i ROS-analyser som detaljeres tilstrekkelig i planfasene
- Vurderer om krav til risikovurdering for høye skjæringer tas inn i håndbok N200
- Legge inn tekst i håndbok N200 som beskriver at stabilitetsanalyser og vurderinger skal utføres
- Utgi V225 Høye bergskjæringer
- Prosesskoden vil bli vurdert endret ved neste revisjon, og inntil videre ivaretas ekspertgruppens anbefalinger med en spesiell beskrivelse for stag, fullt innstøpte bolter og boring av dreneringshull
- Ekspertutvalget hevder det med stor sannsynlighet har vært avvik mellom det som ble anvist og hva som ble utført av bolting. Gjennom kontrollplanen har Vegvesenet som byggherre ansvaret for å sikre at utførelse blir som bestilt
- Anbefaling om at geolog/bergkyndig person skal utføre periodisk inspeksjon av berg/bergskjæring. Utvalg og frekvens må detaljeres videre

Summary in English

On the night of 13 December 2019, there was a landslide of approximately 1100 cubic meters on the E18 near Larvik. The director of roads appointed an expert group. On 28 February

2020, the expert committee led by Bjørn Nilsen, professor of engineering geology at NTNU, submitted a report on the landslide. "It was a combination of several unfortunate circumstances that led to the landslide," Nilsen writes in the report.

Nilsen and the expert committee concluded that the designated rock protection after blasting was deficient. In addition, the contractor may have performed the work with errors and omissions in relation to the instructions. The security work was quality assured by a third party. The committee was of the opinion that the consultant should have pointed out that a stability analysis had not been carried out and further should have assessed more thoroughly whether the designated rock protection put in place would be sufficient.

The Norwegian Public Roads Administration is a learning organization, and as such, we have introduced several measures following the incident.

Innledning

Natt til 13. desember 2019 raste det ut ca 1100 kubikkmeter på E18 fra en fjellskjæring ved Bommestad like ved Larvik. E18 ved Larvik er en 4-felts motorveg med høy ÅDT og hastighet på 100 km/t. Til alt hell, skjedde det ingen personalskader i forbindelse med raset. Raset besto av flere store blokker og ned til små stein. Det var ingen forvarsler for raset.

Vegdirektøren nedsatte umiddelbart ned et ekspertutvalg ledet av professor Bjørn Nilsen ved NTNU for å se på årsaken til denne hendelsen. Hovedkonklusjonen i ekspertutvalgets rapport (Nilsen, 2019) var at bergsikringen har vært for dårlig. Utvalget har kommet til at bergsikringen som ble anvist etter utsprengring var mangelfull. I tillegg kan entreprenøren ha utført arbeidet med feil og mangler i forhold til anvisningen. Sikringsarbeidene ble kvalitetssikret av tredjepart. Utvalget mener at konsulenten burde påpekt at det manglet en stabilitetsanalyse, og også burde vurdert grundigere om den anviste bergsikringen ville være tilstrekkelig.

Utvalgslederen uttalte at det var en kombinasjon av uheldige omstendigheter som førte til utglidning av steinblokka.

Undersøkelsen viser at syv bolter var satt inn slik at de trolig ikke har hatt noen sikringseffekt. I et så vanskelig tilfelle som en 30 meter høy fjellskjæring burde det vært utført en egen stabilitetsanalyse, noe Vegvesenets håndbøker anbefaler.

Åtte bolter ble satt inn for å hindre at kilen kunne gli ut. Trolig har bare en av disse hatt sikringseffekt. Årsaken til at utrasingen skjedde 5-6 år etter at skjæringen ble utsprenget, og ikke umiddelbart, er mest sannsynlig gradvis svekkelse over tid av styrken til mineraler i utglidningsflaten.

Hva har Statens vegvesen lært av ulykken?

Statens vegvesen er en lærende organisasjon, og etter ulykken har vi innført flere tiltak med bakgrunn i rapporten fra ekspertene;

Alle skjæringer > 10 meter må få et «tydeligere fokus» med registrering av profilnummer fra og til.

Skjæringene må følges opp i ROS-analyser som detaljeres tilstrekkelig i planfasene.

Det vurderes om krav til risikovurdering for høye skjæringer skal tas inn i håndbok N200 Vegbygging

I håndbok N200 skal det legges inn en tekst som beskriver hvordan stabilitetsanalyser og vurderinger skal utføres.

Statens vegvesen vil utgi V225 bergskjæringer som vil inneholde veiledende tekst som et supplement til det som er angitt som krav i N200 Vegbygging. V225 vil gjelde for alle skjæringer, men ha fokus på middels til høye bergskjæringer eller spesielt kompliserte skjæringer.

«Prosesskoden bør gjennomgå for å få inn normerte krav også til lange og kraftigere bolter/stag for bruk i stabilitetssikring, der man bl.a. setter krav til tøyningssevne og samvirke. Dreneringshull bør også legges inn som egen post» anbefales det i ekspertrapporten. Inntil prosesskoden blir revidert, har Staten s vegvesen utarbeidet følgende prosesser for spesiell beskrivelse.

For å imøtekomme ekspertgruppens anbefaling, har vi utarbeidet følgende prosesser for spesiell beskrivelse:

23.25 Stag b-c) Lengde, diameter, kapasitet/duktilitet, korrosjonsbeskyttelse og utførelse med ev. forspenning som angitt i den spesielle beskrivelsen.

23.251 Selvborende stag

23.2521 Stag.

x) Mengden måles som utført lengde. Enhet: m

23.2522 Borkrone til selvborende stag

x) Mengden måles som utført antall kroner. Enhet: stk

23.21 Fullt innstøpte bolter

23.211 Bolter, fullt innstøpt, lengde 2,40 m, diameter 20 mm

23.212 Bolter, fullt innstøpt, lengde 3,00 m, diameter 20 mm

23.213 Bolter, fullt innstøpt, lengde 4,00 m, diameter 25 mm

23.214 Bolter, fullt innstøpt, lengde 5,00 m, diameter 25 mm

23.215 Bolter, fullt innstøpt, lengde 6,00 m, diameter 32 mm

23.216 Bolter, fullt innstøpt, lengde 8,00 m, diameter 32 mm

23.27 Boring av dreneringshull

b-c) Hulldiameter, lengde og utførelse som angitt i den spesielle beskrivelsen.

x) Mengden måles som utført antall bormeter. Enhet: m

Ekspertutvalget hevder at det med stor sannsynlighet har vært avvik mellom det som ble anvist og hva som ble utført av bolting. Statens vegvesen er opptatt av det det sikres at utførelse blir i henhold til bestilling. Og dette må kontrolleres og dokumenteres gjennom byggherrens kontrollplan. Denne må ivareta oppfølging og kontroll av alle sikringstiltak som utføres.

For sikringsbolter må det eksempelvis kontrolleres at anvisning fra leverandør følges og at boltetypen er godkjent. Videre må det kontrolleres at plassering, lengde, dimensjon og gysing utføres iht. bestilling. Se håndbok V224 fjellbolting kap. 5 for utfyllende informasjon. Stag og boring av dreneringshull må følges opp tilsvarende.

Utført kontroll må dokumenteres gjennom kontrollplanen.

Periodisk inspeksjon av berg/bergskjæring var også et punkt som ekspertutvalget dro fra. De anbefalte at en geolog/bergkyndig person skal utføre periodisk inspeksjon. Statens vegvesen jobber med å detaljere utvalg og frekvens.

Hva har skjedd i Vestfold etter raset?

Raset på E-18 ved Larvik ble en «sterk vekker for SVV» som medførte en fokusendring mht sikkerheten i fjellskjæringene for drift- og vedlikeholdsmiljøet (DoV) miljøet.

Beslutning i januar 2020 om å iverksette en systematisk gjennomgang av alle fjellskjæringer i Vestfold.

111 fjellskjæringer over 5 m langs E18 gjennom Vestfold er vurdert. Det ble foreslått tiltak på 45 av skjæringene.

Det er laget 3-års plan for utbedring av alle beskrivende tiltak. Deretter innføres faginspeksjoner hvert 5. år på alle skjæringer over 5 m.

Regjeringens Korona tilskudd har gitt mulighet for økt aktivitet i 2020 og flere tiltak er allerede utført. I 2020 antas at det vil bli montert ca 1000 bolt/stag og ca 5000m² steinsprangnett.

All sikring blir registrert og dokumentert inn i NVDB.

Referanser

1. Nilsen, et. al, Ekspertutvalgets rapport, Ras på E18 ved Larvik 13. desember 2019.
<https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/larvik-ekspertutvalg-har-undersokt-raset-ved-bommestad>

ALUNSKIFER OG SVARTSKIFERHOLDIGE LØSMASSER – OPS RV. 3/25 PROSJEKTET

Alum shale and Alum shale derived moraines containing black shale – BOP Rv. 3/25 project

Lars Bjerkeli, Skanska Norge

Andreas Olaus Harstad, Skanska Norge

SAMMENDRAG

Skanska Norge AS har gjennomført bygging av 26 km vei gjennom kommunene Løten og Elverum. Deler av traseen går gjennom grunn med svartskifer berg og svartskiferholdige morenemasser. Håndtering av svartskifer berg er forbundet med betydelig miljørisiko og det er strenge retningslinjer for hvordan slikt arbeid skal utføres og massene disponeres. Svartskiferholdige morenemasser er forbundet med liknende miljørisiko, men skiller seg av natur fra fast berg. I mangel av etablert praksis og tydelige retningslinjer utviklet prosjektet stedsspesifikke disponeringskriterier for bærekraftig bruk av svartskiferholdige morenemasser innenfor reguleringsområdet for den nye veien. Arbeidet var både tid- og ressurskrevende, og satte store krav til både gjennomføring og dokumentasjon. I samarbeid med lokale miljømyndigheter, rådgivere og grunneiere fikk Skanska gjennomført disponering av totalt ca 120.000m³ svartskiferholdige morenemasser i prosjektet. Nødvendige og stedsspesifikke miljøtiltak basert på utarbeidede miljørisikovurderinger, ble fulgt tett opp av både totalentreprenør, byggherre og miljørådgiver i hele gjennomføringsperioden, og bidro til suksess i prosjektet.

SUMMARY

Skanska Norway was the contractor in a Design-Build-Operate road project in the municipalities of Løten and Elverum in eastern part of central Norway. The ground conditions in a significant part of the road consisted of alum shale and moraine containing alum shale, i.e. there was a risk for acid runoff from these masses. While handling of alum shale is subjected to well established regulations in Norway, the handling of moraine containing alum shale is not. This paper describes the work performed by Skanska to develop, execute and document the handling and disposition of this type of moraine masses in the project in a safe manner with respect to the environment.

INNLEDNING

OPS selskapet Hedmarksvegen AS med Skanska som totalentreprenør var en av tre tilbydere på OPS prosjektet Riksvei 3/25 gjennom kommunene Løten og Elverum. Byggherre for prosjektet var Statens Vegvesen (SVV). Tilbudsdokumentene fra SVV inneholdt en tydelig

presisering om at det var risiko for å påtreffe deponipliktig svartskifer berg langs linja, men mengden av denne type berg var ikke spesifisert. I tillegg kom det fram at det også var stor sannsynlighet for å påtreffe morene som inneholdt fragmenter av svartskifer. For svartskifer berg/alunskifer foreligger det et klare retningslinjer med tanke på både karakterisering (M-310) og leveranse til godkjent deponi (M-385) av denne type bergart. For morene med svartskiferinnhold foreligger det ikke et tilsvarende regelverk, og en anerkjent metode for karakterisering og håndtering av denne type masser er og var ikke etablert.

Gjennom tilbudsperioden forberedte Skanska sammen med sin rådgiver NGI et prøvetakings- og testprogram for svartskiferholdige masser, som lå klart til å gjennomføres da Hedmarksveien ble tildelt OPS-kontrakten våren 2018. Denne artikkelen beskriver gjennomføringen av dette prøvetakingsprogrammet og påfølgende håndtering av de svartskiferholdige massene fra prosjektet.

GJENNOMFØRING AV PLANLAGT PROGRAM VED VUNNET KONTRAKT

Boreprogram, laboratorie-tester og analyser

Hovedelementet i prøvetakingsprogrammet var opptak av kjerneprøver fra både løsmasser og berg langs alle strekninger i linja der det var risiko for at veien ville gå i skjæring med enten svartskifer berg eller svartskiferholdig morene. Totalt ble boret i 42 punkter til en dybde som varierte mellom 5-15m. Det ble i alt tatt opp 375m med borekjerne, fra både løsmasser og berg. Disse borepunktene ble fordelt på tre delstrekninger med markante bergskjæringer, der det ble foretatt relativt tett med boringer, samt noen enkeltpunkter mellom disse med potensiale for bergkontakt med traubunn til veien.

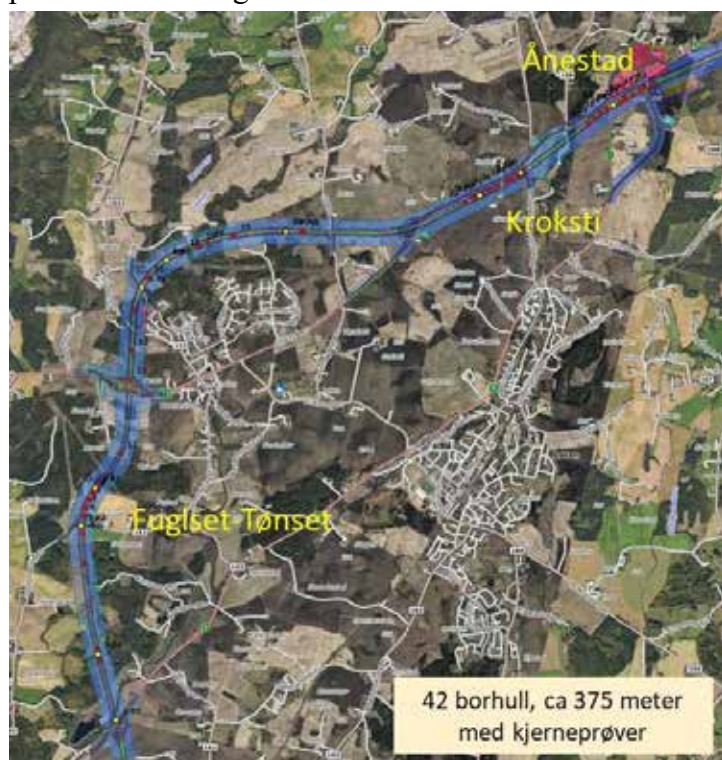


Fig. 1 Plassering av borepunkter langs linje (rød prikker)

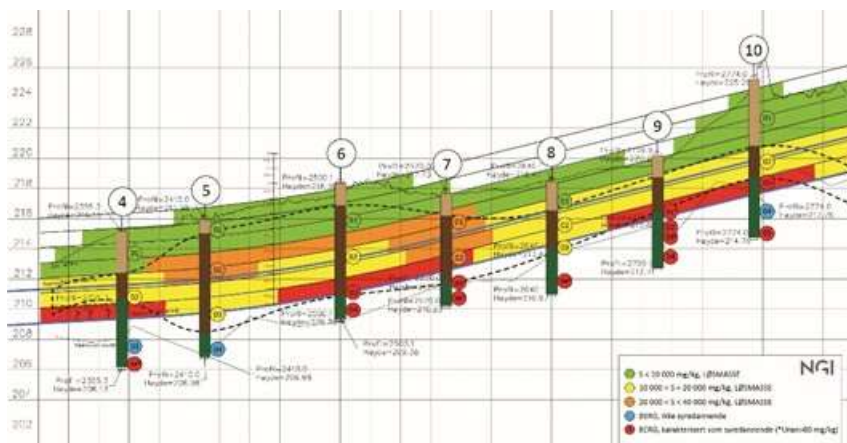


Fig. 2 Borerigg med Sonic Drilling utstyr og borekjerne som ble tatt opp

Fra borekjernene ble det utført i alt 129 kjemiske laboratorieanalyser av berg og morene. I tillegg ble det tatt ca. 40 kjemiske analyser av jordsmonnet over morenelaget. Svartskifer berg ble behandlet i tråd med Miljødirektoratets veileder; M-310, mens svartskiferholdige løsmasser ble håndtert i tråd med anbefalinger fra rådgivers stedsspesifikke miljørisikovurdering (YM-plan).

Basert på de geokjemiske analysene ble det beregnet at de svartskiferholdige morenemassene kunne disponeres lokalt forutsatt at visse krav ble overholdt. Det første kravet var at de svartskiferholdige morenemassene skulle tilbakeføres til tilnærmet sin opprinnelige tilstand. I praksis innebar dette et krav til komprimering av massene til nær opprinnelig vanngjennomstrømmingsevne. Videre skulle slike masser ikke disponeres i våte og flomutsatte områder.

For hver delstrekning med svartskiferholdige masser i skjæring ble det etablert disponerings-skisser basert på kjemisk informasjon fra borekjernene. Disse skissene viste på et overordnet nivå hvilke type masser man ville treffe på i denne skjæringen. Figur 3 viser et eksempel på en slik skisse der rød farge er berg til deponi, gul/oransje farge er morenemasser med ulike og kjemisk kontrollerte krav til komprimering, og grønn farge indikerer masser som kan benyttes fritt innenfor anleggsområdet. Slike skisser ble brukt for å planlegge masseuttaket, og en ytterligere detaljering av skissene ble basert på prøvegraving og pXRF testing under oppfølging av masseuttaket. Svartskiferholdig berg ble kjørt til godkjent deponi i henhold til kravene i veileder M-310.



Fylkesmannen bisto kommunen med faglige vurderinger ved behov. En YM-plan for håndtering av de svartskiferholdige massene, basert på stedsspesifikke miljørisikovurderinger, ble sendt til kommunen for hver av de ulike delstrekningene i prosjektet. Uttaket av masser startet opp etter hvert som disse planene ble godkjent.

Justering av veilinja i vertikalplanet

Basert på kunnskapen fra boreprogrammet, og skisser som vist i figur 3, ble veilinjen hevet i områder der man ville gå i bergskjæring som inneholdt alunskifer. Hevingen av linja var moderat, og noe begrenset for å ivareta støyforhold, massebalanse og overvannshåndtering.

GJENNOMFØRING

Ytterligere testing av morenemasser og berg

Som tidligere nevnt var grunnlaget for skissene som ble laget (se fig. 3) basert på data fra boreprøvene og brukt for planleggingen av masseuttaket i en skjæring. Avstanden mellom borehullene var imidlertid opptil 70m, og det var et behov for mere detaljert kunnskap om lokale variasjoner i massene i skjæringene. Etter at det «grønne» topplaget i figur 3 var fjernet ble det tatt opp graveprøver i ulike dybder med ca 20m mellomrom gjennom skjæringen. Disse prøvene ble kjemisk karakterisert ved bruk av pXRF på etablert lab ved anleggsriggen.



Fig. 4 Innhenting av graveprøver før uttak av en skjæring

Basert på pXRF resultatene fra graveprøver og tilsvarende prøver fra berg, ble det etablert en mere nøyaktig versjon av skissene som vist i figur 3 for massene som lå under «grønne masser». Et eksempel på en slik forbedret skisse er vist i figur 5.

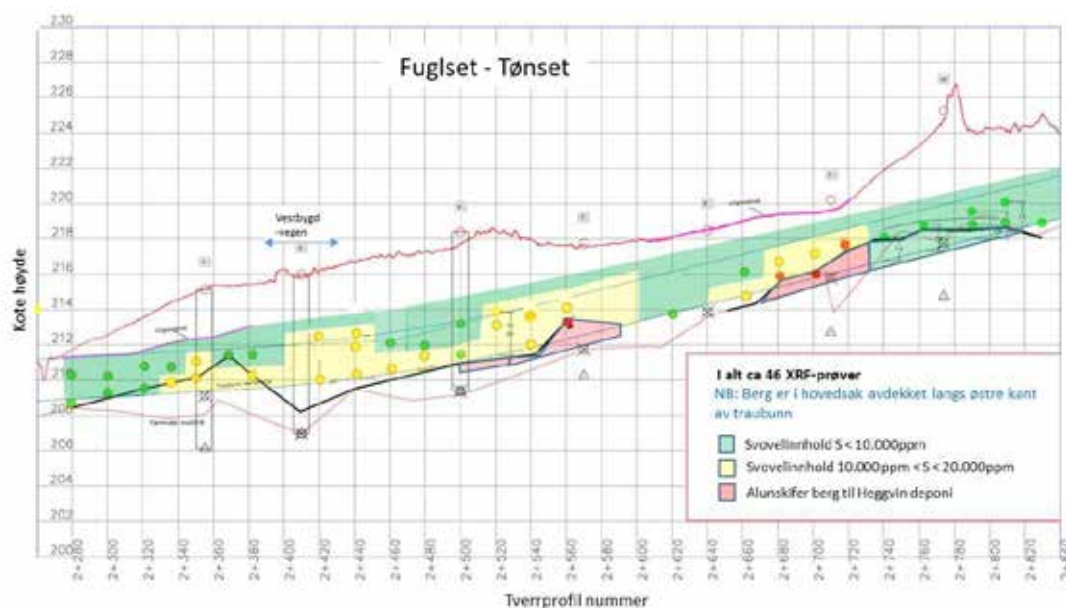


Fig. 5 Skisse som viser detaljert inndeling av svartskifermasser i skjæring før uttak

Graveprøver analysert med pXRF

En håndholdt XRF «pistol» (pXRF = portable XRF) er et verktøy som ved hjelp av røntgenstråler kan utføre geokjemiske analyser raskt, relativt enkelt, og med tilstrekkelig nøyaktighet for problemstillingen i prosjektet. For at prøvene skal være mest mulig representative ble disse alltid utført på nedknust materiale, som ble preparert i egne små «beholdere» som vist i figuren under. Skanska utførte totalt ca 280 pXRF prøver lokalt for å dokumentere og karakterisere de svartskiferholdige massene best mulig. Som kontroll ble samtlige prøver sendt inn til akkreditert laboratorieanalyse også analysert ved bruk av pXRF.



Fig. 6 pXRF pistol og preparert prøvebeholder med nedknust materiale

Håndtering av svartskifer/alunskifer berg

All svartskifer berg som ble karakterisert som alunskifer og/eller berg med potensial for sur avrenning ble kjørt til deponi hos Heggvin Alun AS. Berget ble i hovedsak pigget ut for å unngå nedknusning til finstoff ved sprengning. Alunskiferen ble lastet på bil, og eventuell mellomlagring var kun forbundet med logistikk for utkjøring og i svært korte tidsperioder.



Fig. 7 Alunskifer på traubunn klar til opplasting på bil og utkjøring til Heggvin Alun AS

Disponering av svartskiferholdige morenemasser

De svartskiferholdige morenemassene ble disponert i umiddelbar nærhet til de skjæringene som disse massene ble tatt ut fra, og etter nærmere avtale med grunneier. Massene ble i hovedsak benyttet til arrondering av veiens sideterreng som var avsatt til jordbruksformål. Morenemassene ble alltid tildekket med ca 1,5m med andre rene masser. Eksempel på plassering av morenemassene er vist i figuren under.



Fig. 8 Eksempel på disponeringsområder for svartskiferholdig morene er vist med blå farge

Dokumentasjon av oppnådd komprimering av morenemassene

De svartskiferholdige morenemassene skulle komprimeres til et visst nivå ved utlegging slik at de oppnådde tilnærmet samme tetthet og vanngjennomstrømmingsevne som de opprinnelig hadde før utlastning. Komprimeringen ble i hovedsak utført med et gitt antall overfarter med

doser under utlegging. I enkelte tilfeller var imidlertid vanninnholdet i morenemassene høyt, og tilfredsstillende komprimering ble ikke oppnådd ved første komprimering med doser. Vannet hadde sterk «binding» til morenemassene og massene hadde liten avrenning. I slike tilfeller ble det iverksatt tiltak for få ned vanninnholdet i massene slik at tilfredsstillende komprimering ble oppnådd. Har man slike masser må uttaket derfor legges til en tid på året da det er mulig å få redusert vanninnholdet i massene ved uttørking.

Oppnådd komprimering av massene ble dokumentert ved Troxlermålinger, både underveis ved utlegging i ulike områder, og som endelig sluttokumentasjon for prosjektet



Fig. 9 Troxler-måling for kontroll av komprimeringsgrad

KONTROLL OG OPPFØLGING

Alle bekker som kunne bli mottakere av vann ved utlegging av morenemasser, eller fra skjæringer i svartskifermasser, ble fulgt opp med vannprøvetaking. Erfaringen var at det ikke var noen identifisert avrenning fra morenemassene, og at vanninnholdet i disse massene hadde en sterk binding til massene.

Fra de åpne skjæringene ble det registrert avrenning fra grunnvann og overvann ved regn. Vannet fra skjæringene hadde forhøyede verdier på enkelte tungmetaller, som forventet ved aktiv anleggsdrift i et område med svartskifer. På grunn av tilstedeværelse av kalkstein i den lokale berggrunnen, var vannet fra skjæringene aldri surt, men hadde en pH i overkant av 7. Ved kontroll av vannkvalitet i resipient oppstrøms og nedstrøms utløpspunkter fra skjæringene, ble det dokumentert svært liten grad av påvirkning av vannet i resipienten. En erfaring var imidlertid at vann ikke bør demmes opp og bli stående over overtraubunn i områder med svartskifer berg, da mengden tungmetaller i vannet vil øke med tiden. I verste fall kan dette føre til behov for ekstra tiltak knyttet til vannrensing før utslipp til resipient

ERFARINGER OPPSUMMERT

- Arbeide i svartskifer berg og svartskiferholdige morenemasser krever omfattende forundersøkelser og svært god planlegging av arbeidet for å avdekke naturlige geologiske variasjoner
- Utført miljørisikovurdering, områdeforståelse og resulterende tiltak er alltid stedsspesifikke og kan ikke direkte overføres mellom ulike deler av en veistrekning
- Kravet til dokumentasjon og prøvetaking underveis er ressurskrevende og omfattende, og må inkluderes i tilbudsarbeidet
- Utfordringene knyttet til punktene over øker ytterligere i en totalentreprise med en utfordrende gjennomføringstid
- Åpen dialog med kommune og Fylkesmann er viktig for gjennomføringen av offentlige forpliktelser på en ryddig og rettidig måte
- Entreprenøren må sørge for god faglig støtte på rådgivingssiden
- Åpen dialog med grunneiere om de aktuelle problemstillingene, samt planlagte løsninger/tiltak
- Prosjektet utviklet en vellykket metode, men arbeidet var både kost- og ressurskrevende med tanke på omfang, oppfølging og dokumentasjon

DAGBRUDDSSSTABILITET I NORCEM KJØPSVIK**OPEN PIT SLOPE STABILITY IN NORCEM KJØPSVIK**

Sverre Paulsen Thoresen, Rambøll Norge AS

Steinar Løve Ellefmo, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Charlie Chunlin Li, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

SAMMENDRAG

Dagbrudd vil i store deler av gruvas livstid operere med en lav totalvinkel av dagbruddsveggen for å gi brede pallnivå og dermed øke produksjonskapasiteten. Når uttak i dagbruddet nærmer seg forekomstens grense, blir det ofte aktuelt å legge dagbruddsveggen langs grensen av forekomsten for å optimalisere uttaket av mineral og minimalisere uttaket av gråberg. I situasjoner hvor forekomstens grense er steil forsøkes det å legge dagbruddsveggen parallelt eller så bratt som mulig etter denne. Direktoratet for Mineralforvaltning med bergmesteren for Svalbard setter krav til at det utføres nødvendige undersøkelser for endelig vegg i alle dagbrudd.

Dagbruddsområdet til Norcem Kjøpsvik er i en situasjon hvor en optimalisering av dagbruddets vegg er ønskelig. Forekomsten er drevet i kalsittmarmor med bergartsgrense til granatglimmerskifer. Stabilitetsanalyse er utført med hensyn på total- og detaljstabilitet og fordelt i ulike geotekniske domener i dagbruddets område. Numerisk modellering med UDEC og RS2 er benyttet for å optimalisere totalvinkelen av dagbruddsveggen, avhengig av bruddforløpet i bergmassen. Kinematisk analyse i Dips 7.0 er brukt for å identifisere og evaluere bruddmekanismer i bergmassen på pallnivå. I tillegg er det laget en 3D-modell av dagbruddets Q-verdi for å evaluere anisotropi i bergmassen med hensyn på stabilitet og variasjon i bergmasseparametere. Resultatene av stabilitetsanalysene viser at «toppling» eller utvelting kan forekomme på pallnivå i alle geotekniske domener. Kileutglidning og plan utglidning vil også kunne inntreffe i nordlig og sørlig del av dagbruddsområdet. Optimalisert totalvinkel for dagbruddsveggen i alle geotekniske domener har vist seg å variere mellom 38°-72°. 3D-modellen av dagbruddsområdet viser lave tegn til anisotropi i bergmassen og en Q-verdi som befinner seg i området 10-100. Det er ikke identifisert tydelige svake områder med lav Q-verdi som truer detalj- eller totalstabiliteten.

SUMMARY

During the lifespan of an open pit mine, the slope of the pit is mostly optimized to increase the production of ore. When the pushbacks in the mine is close to the constraints of the deposit, an optimization of the stripping-ratio must be done by adjusting the overall pit wall angle parallel or as close as possible to the constrain of ore deposit. When planning closure of mines, proper examination of the rock mass stability must be done according to the Norwegian directorate of mining with commissioner of mines at Svalbard.

The open pit mine in Norcem Kjøpsvik is assessing the final pit slope angle. The stability analyses are performed in defined geotechnical domains with regards to overall and detail stability. Numerical modelling in UDEC or RS2 is used to assess the stability of the overall pit angle, depending on rock failure processes. Kinematic analysis in Dips 7.0 is used to

5.2

identify and evaluate failure modes in the rock mass at bench scale level. In addition, a 3D-modell of the Q-value in the open pit is made to assess the anisotropy in the rock mass with regards to stability and variation in rock mass parameters. The results of the stability analyses show that toppling can occur in all geotechnical domains. Wedge and planar failure can also occur in the northern and southern parts of the pit. Optimized overall pit angle in the geotechnical domains varies between 38° - 72° . The 3D-model of Q-values in the pit mine shows low signs of anisotropy in the rock mass and a Q-value which is in the interval of 10-100. It is not identified any low Q-value areas which can threaten the detail or overall stability.

INNLEDNING

Denne studien er utført som masteroppgave ved studieprogrammet Tekniske Geofag på NTNU, og strakte seg fra sommeren 2018 til 2019.

I store deler av livstiden til dagbrudd er det vanlig å operere med en lavere totalvinkel enn hva som blir sett på som optimalt for endelig dagbruddsvegg. Dette skyldes en økt pallbredde for å gi tilstrekkelig produksjonskapasitet eller hvor det ikke er innhentet nødvendige designparametere. Når uttak i dagbruddet nærmer seg forekomstens grense, blir det ofte aktuelt å legge dagbruddsveggen langs grensen av forekomsten for å optimalisere uttaket av mineral og minimalisere uttaket av gråberg. I situasjoner hvor forekomstens grense er steil forsøkes det å legge dagbruddsveggen parallelt eller så bratt som mulig etter denne. For å hindre ustabilitet i dagbrudd som setter menneskeliv og materielle verdier i fare, har Direktoratet for Mineralforvaltning med Bergmesteren for Svalbard anbefalt at den totale dagbruddsvinkelen ikke overstiger 50 - 52° (DMF, 2016). I løpet av livstiden til gruva vil det ofte være aktuelt å gjennomføre en stabilitetsanalyse for å vurdere den maksimale totalvinkelen for endelig dagbruddsvegg, slik at risiko for ansatte og materielle verdier blir redusert, men også for å forvalte mineralressursen på best mulig måte.

Hensikten med denne studien er å undersøke stabilitet av endelig dagbruddsvegg grunnet kvalitetsvariasjoner i forekomsten og en produksjon som nærmer seg forekomstens yttergrense.

TEKNISK BAKGRUNNSDATA

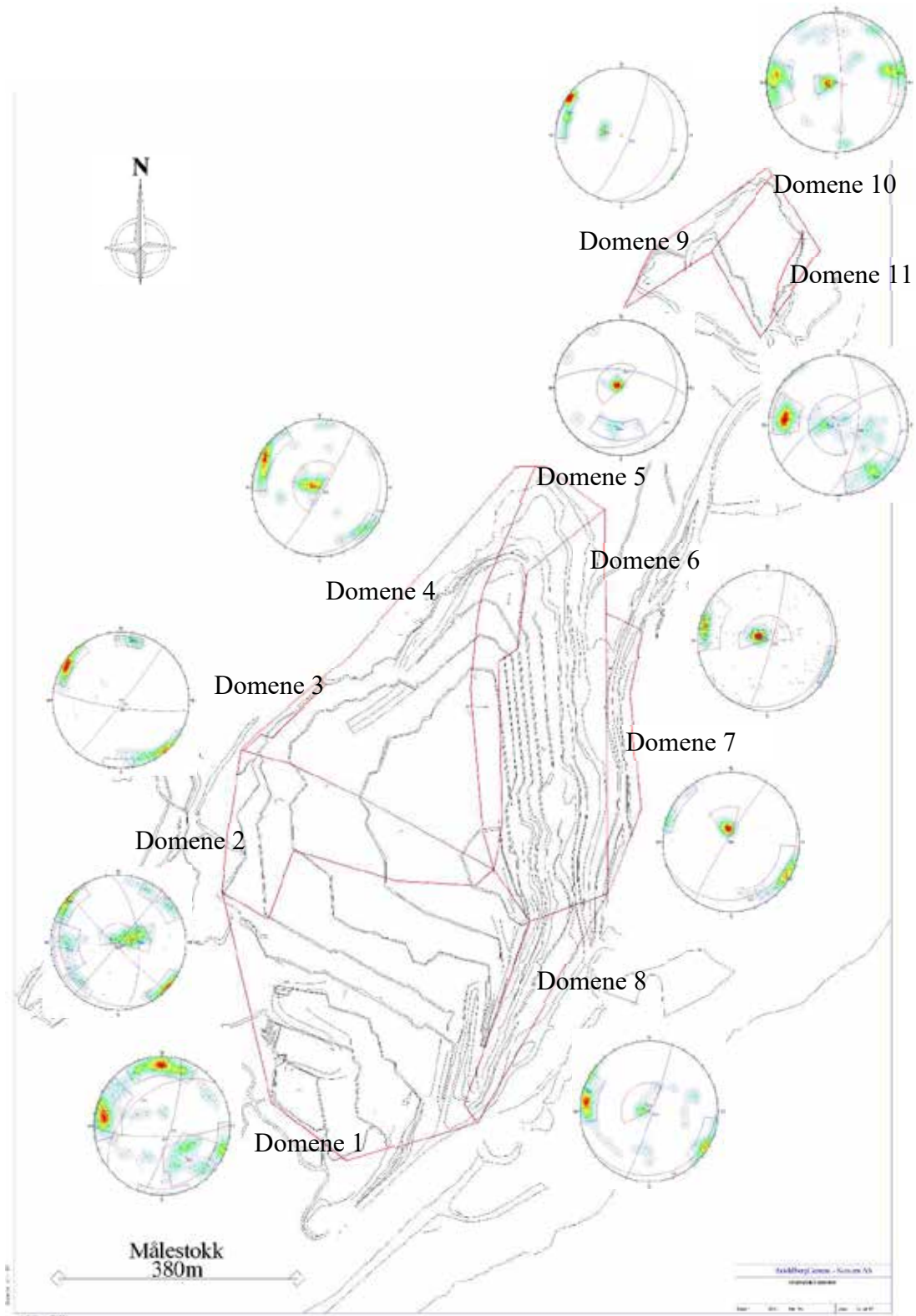
I forbindelse med studiet har det blitt innhentet følgende nødvendige designparametere:

- Bergspenningsmålinger (Hanssen, 1998, Larsen et al., 2007, Mork, 2019)
- Bergmekaniske egenskaper
- Sprekkeorientering
- Overflateforhold på sprekkesett
- Bergmasseklassifisering
- Loggførte borkjerne hull (Norcem, 2019)

Dagbruddsområdet består av to brudd, Sentralbruddet (domene 1-8) og Kikvikbruddet (domene 9-11). Med bakgrunn i at ulike sprekkesett kan opptre i områder med ulik orientering på dagbruddsveggen og i ulik litologi, har dagbruddsområdet blitt inndelt i geotekniske domener, se Figur 1. Sprekkesystem i domene 2, 3, 10 og 11 er kartlagt digitalt

5.3

ved hjelp av fotogrammetri, mens resterende domener er kartlagt fra feltarbeid.



Figur 1: Inndeling av geotekniske domener i dagbruddsområdet med tilhørende sprekkekartlegging presentert i stereoplott.

METODE

Kinematisk analyse

Kartlagte sprekker er presentert i Dips 7.0 (Rocscience, 2016). I hvert geotekniske domene har gjennomsnittlig orientering på sprekkesettene blitt definert. I den kinematiske analysen har det blitt benyttet en friksjonsvinkel på 27° og 28° for henholdsvis kalsittmarmor og granatglimmerskifer, fallvinkel på pallfronten er satt til 79° .

Numerisk analyse

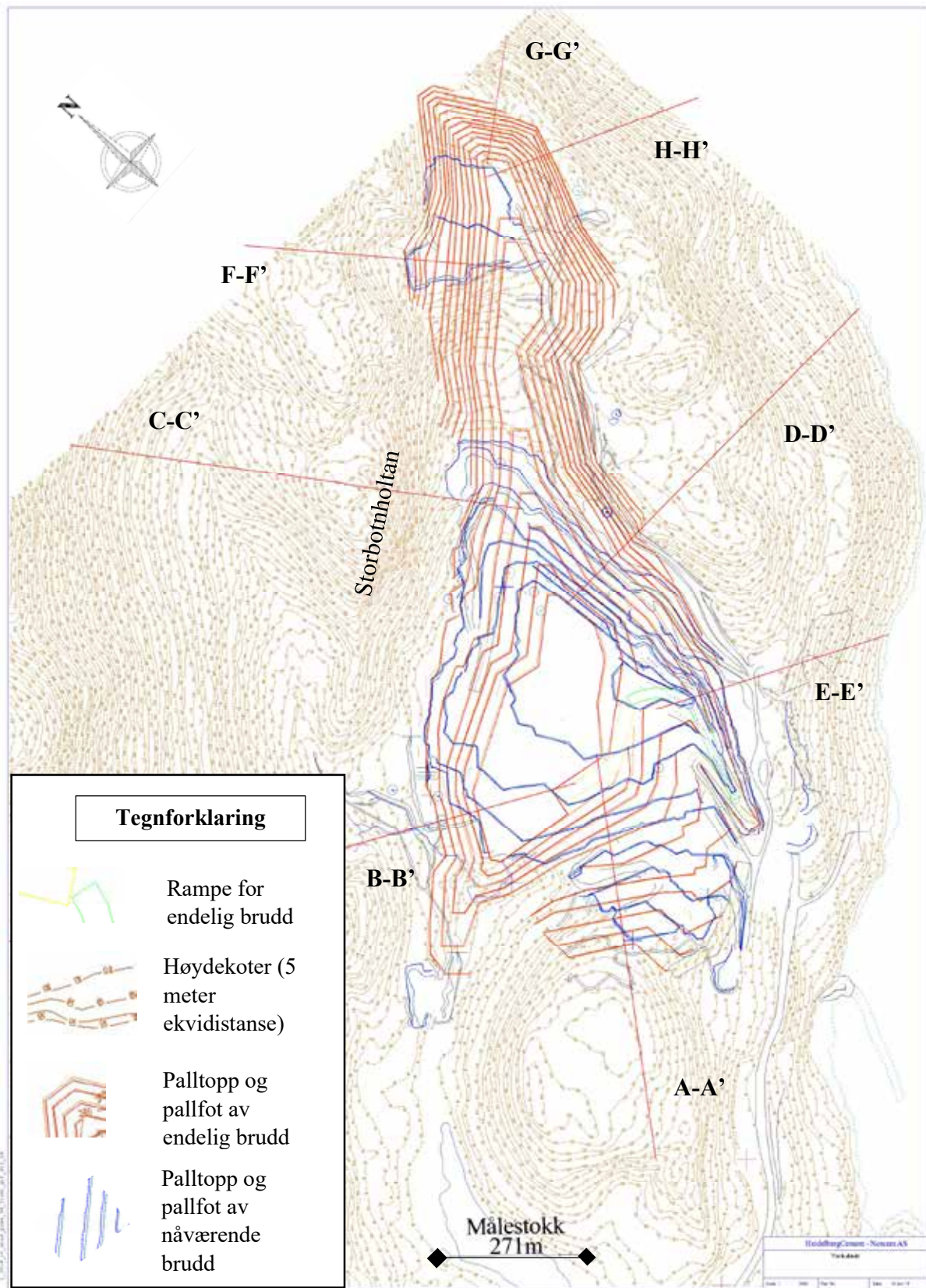
Grovt deles numeriske metoder inn i kontinuum og diskrete metoder. Kontinuum-baserte metoder analyserer i hovedsak bergmassen som en sammenhengende enhet og hvor sprekkeplan har relativt lite deformasjon. Diskrete metoder deler bergmassen inn i et geometrisk problem basert på sprekkenes orientering og analyserer deres relative bevegelse. I denne studien er det valgt å bruke diskret element-metoden UDEC og den kontinuum baserte metoden RS2, med bakgrunn i antatt bruddforløp og deformasjon til bergmassen (Rocscience, 1998, Itasca, 2011). UDEC vil være fordelaktig i områder hvor strukturkontrollert brudd i bergmassen er sannsynlig og at intakt berg ikke går i brudd. Metoden er godt egnet til å beskrive oppførselen til en blokkdannet bergmasse og dens relative bevegelse. Dette forutsetter at bergmassen er moderat oppsprukket og at høydeforskjellen i området er begrenset. RS2 vil være foretrukket i områder hvor brudd i intakt berg er sannsynlig. Metoden er derfor godt egnet til å beskrive oppførselen til en homogen bergmasse, med andre ord en lite oppsprukket eller veldig oppsprukket bergmasse. Dagbruddsområdet til Norcem Kjøpsvik er orientert parallelt med Lifjellet og Storbotnholtan. Dette innebærer nær 800 og 200 meter med høydeforskjell som vil kunne påvirke stabiliteten i sentrale deler av endelig dagbrudd. Bergmassen i området er antatt homogen. Det er derfor valgt å gjennomføre stabilitetsanalyse med RS2 i profil B-B' og C-C', se Figur 2. Resterende områder rundt dagbruddet har relativt lav høydeforskjell hvor det er antatt strukturkontrollerte brudd i bergmassen. Disse områdene har dermed blitt analysert med UDEC.

Ved stabilitetsanalyse er det tatt utgangspunkt i design av endelig dagbruddsvegg fra Norcem Kjøpsvik og en optimalisert dagbruddsvegg med 25 meter høye paller. Det henvises til Thoresen (2019) for oppsett og verifisering av modellene.

3D-modellering

3D-modellering av Q-verdi er utført i programmet LeapFrog Geo med utgangspunkt i loggførte borkjerne hull fra Norcem Kjøpsvik (Aranz Geo, 2014, Norcem, 2019). Topografiske data er også gitt fra bedriften.

For å beskrive den romlige variasjonen av Q-verdi har det blitt definert en søkeellipsoide basert på antatt sammenheng i loggførte data. Største akse er parallelt med strøket på forekomsten, minste akse vinkelrett på forekomstens strøk og intermediære akse i vertikalretning.



Figur 2: Oversiktskart over nåværende og endelig brudd. Plassering av vertikalsnitt for utarbeidelse av numeriske modeller i UDEC og RS2 er vist. Profil B-B' og C-C' er analysert i RS2 mens resterende er utført i UDEC.

RESULTAT

Kinematisk analyse

Hvert domene i dagbruddsområdet har blitt kinematisk analysert med bruddmekanismene bøyelig og blokkutvelting samt plan og kileutglidning. Tabell 1 viser virkningsgraden hver bruddmekanisme har i hvert domene med tilhørende veggorientering. Kinematisk analyse som er fremhevet med farget rute i Tabell 1 indikerer dominerende eller sensitiv bruddmekanisme i domenet.

Første kolonne i Tabell 1 ved plan utglidning og utvelting viser % av totale poler i den kinematiske analysen som er kritiske for bruddmekanismen. Andre kolonne beskriver % av totale poler for et bestemt sprekkesett som er kritiske. Graden av kileutglidning beskrives gjennom % av totale kryssninger som forekommer i kritisk område.

Tabell 1: Oversikt over dagbruddsområdets bruddmekanismer og deres virkning

Domene	Veggorientering [Fallretning]	Plan utglidning		Kileutglidning	Utvelting	
	Asimut	% kritisk total	% kritisk sprekk	% totale kritiske kryssninger	% kritisk total	% kritisk sprekk
1	N020	3.65	0.00	25.55	12.50 ^b	41.82 ^b
2	N080	14.29	83.33	28.39	21.12 ^a	91.67 ^a
3	N130	6.17	9.52	14.60	17.28 ^b	30.95 ^b
4	N130	12.96	20.00	13.84	37.04 ^a	87.50 ^a
5	N180	0.00	0.00	0.48	14.29 ^a	25.00 ^a
6	N260	2.67	0.00	8.72	15.11 ^b	33.33 ^b
7	N260	8.00	0.00	21.39	22.00 ^b	32.14 ^b
8	N285	1.52	2.56	7.88	1.52 ^a	2.56 ^a
9	N110	37.50	50.00	42.86	62.50 ^a	100.00 ^a
10	N230	5.77	0.00	26.92	3.85 ^b	4.35 ^b
11	N290	10.0	4.76	19.62	27.50 ^b	83.30 ^b

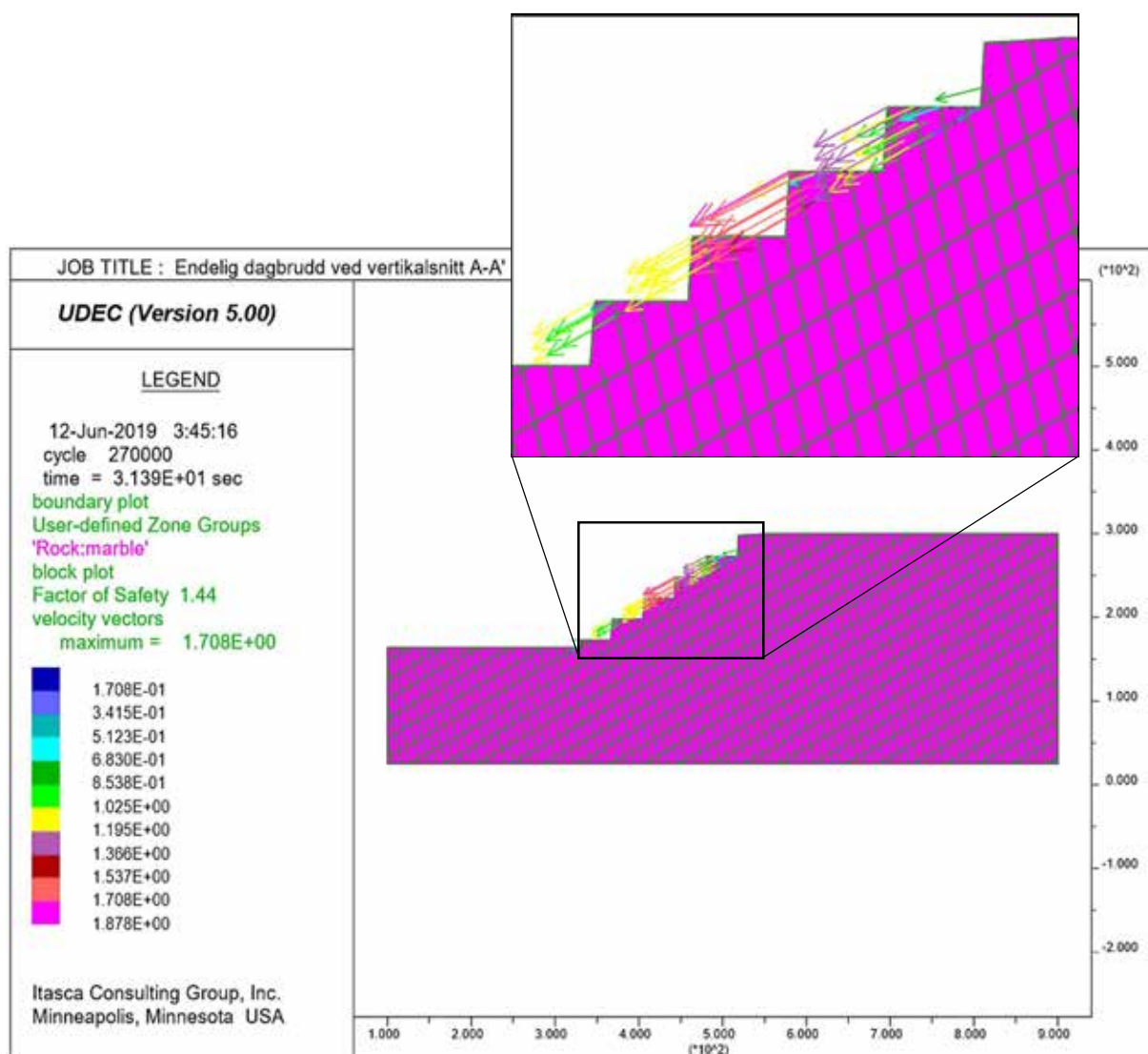
^aBlokkutvelting.

^bBøyelig utvelting

Numerisk analyse

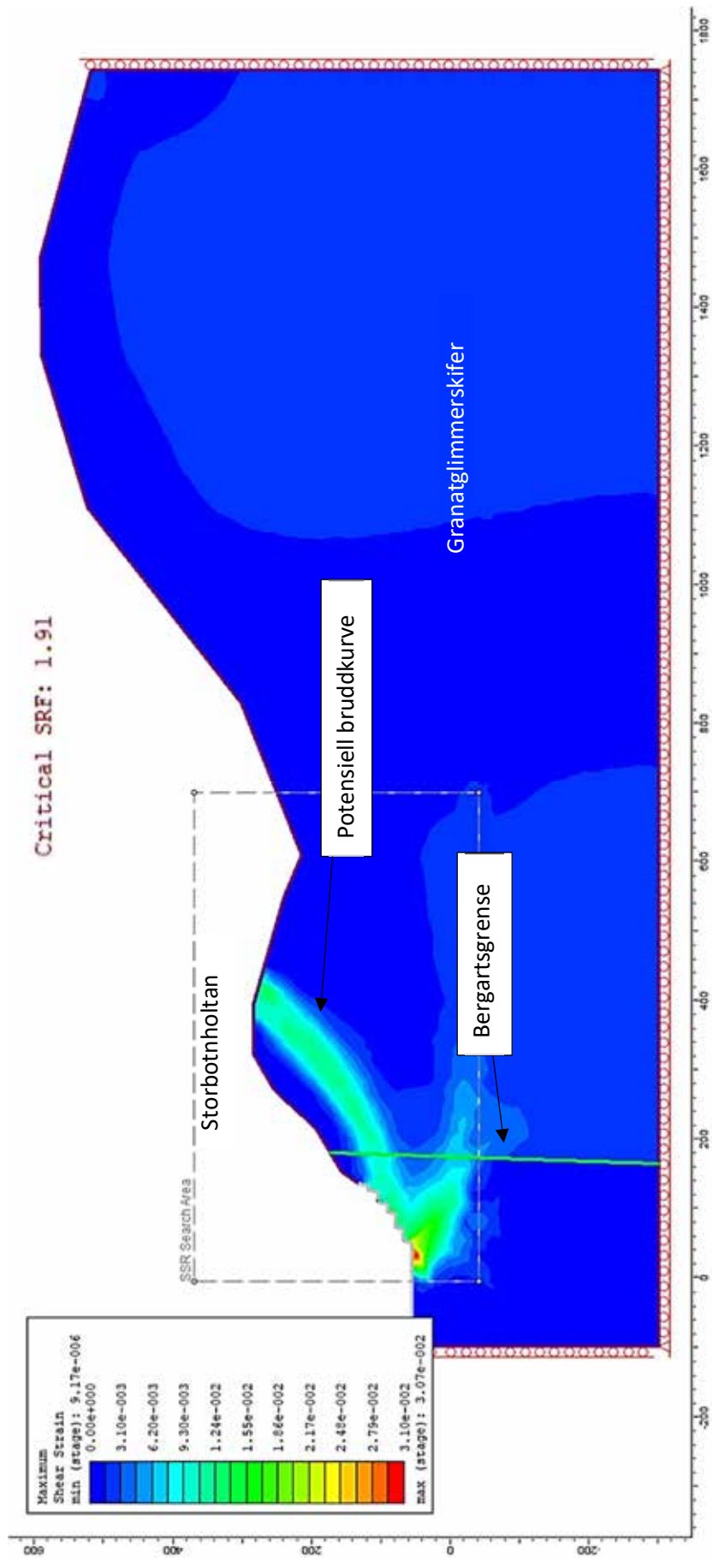
Det er følgende presentert resultat fra vertikalsnitt A-A', C-C', F-F' og H-H' for å illustrere bruddmekanismene i dagbruddsområdet. For resterende resultat henvises det til Thoresen (2019).

For vertikalsnitt A-A' er det utført stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert dagbruddsvinkel ved 38° (Figur 3). Hastighetsvektorer indikerer bevegelse langs et bruddplan med utgående på pallnivå. Sikkerhetsfaktor er beregnet til 1.44. En ytterligere økning av totalvinkelen til 42° vil resultere i en sikkerhetsfaktor på 1.20 og et glideplan som gir utglidning for hele dagbruddsveggen.

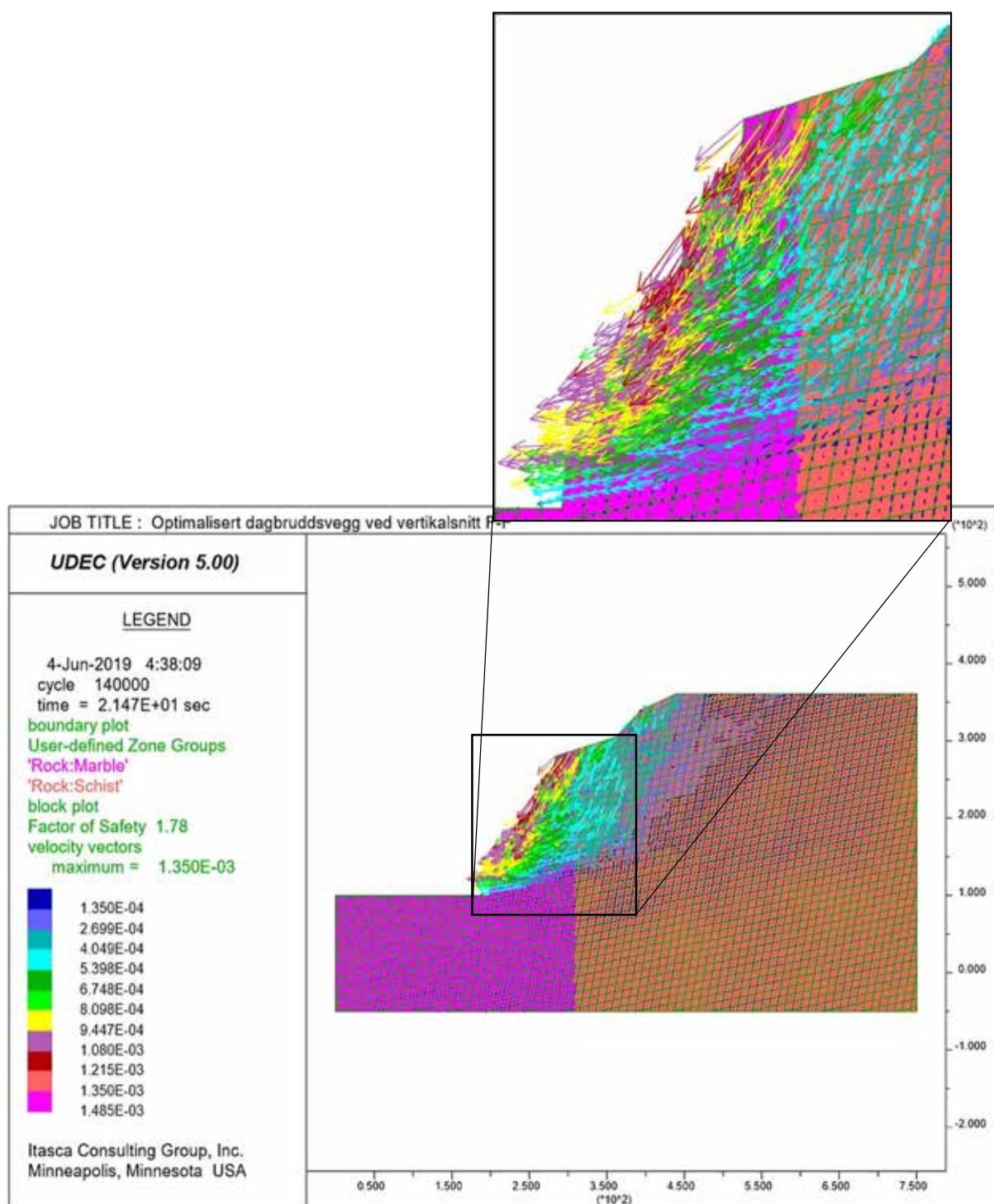


Figur 3: Stabilitetsanalyse i vertikalsnitt A-A' av optimalisert endelig dagbruddsvegg. Totalvinkelen er 38°

Figur 4 viser stabilitetsanalyse av planlagt endelig dagbruddsvegg etter design fra Norcem Kjøpsvik i vertikalsnitt C-C'. Endelig dagbrudd designet av Norcem Kjøpsvik har resultert i en SRF = 1.9, med maksimal skjærbevegelse på omtrent 0.031 meter i bunnen av dagbruddet. Potensiell bruddkurve har utgående fra Storbotnholtan og nedre del av endelig dagbruddsvegg. Bunnen av dagbruddet er ved 37 m.o.h. Optimalisert dagbruddsvinkel er beregnet til å være 57° med en sikkerhetsfaktor på over 1.5.



Figur 4: Numerisk stabilitetsanalyse i RS2 for planlagt endelig dagbruddsvegg i vertikalsnitt C-C'. Potensiell sirkulær bruddkurve er vist med utløp i dagbruddsveggen og toppen av Storbotnholtan. Designet er fra Norcem Kjøpsvik.

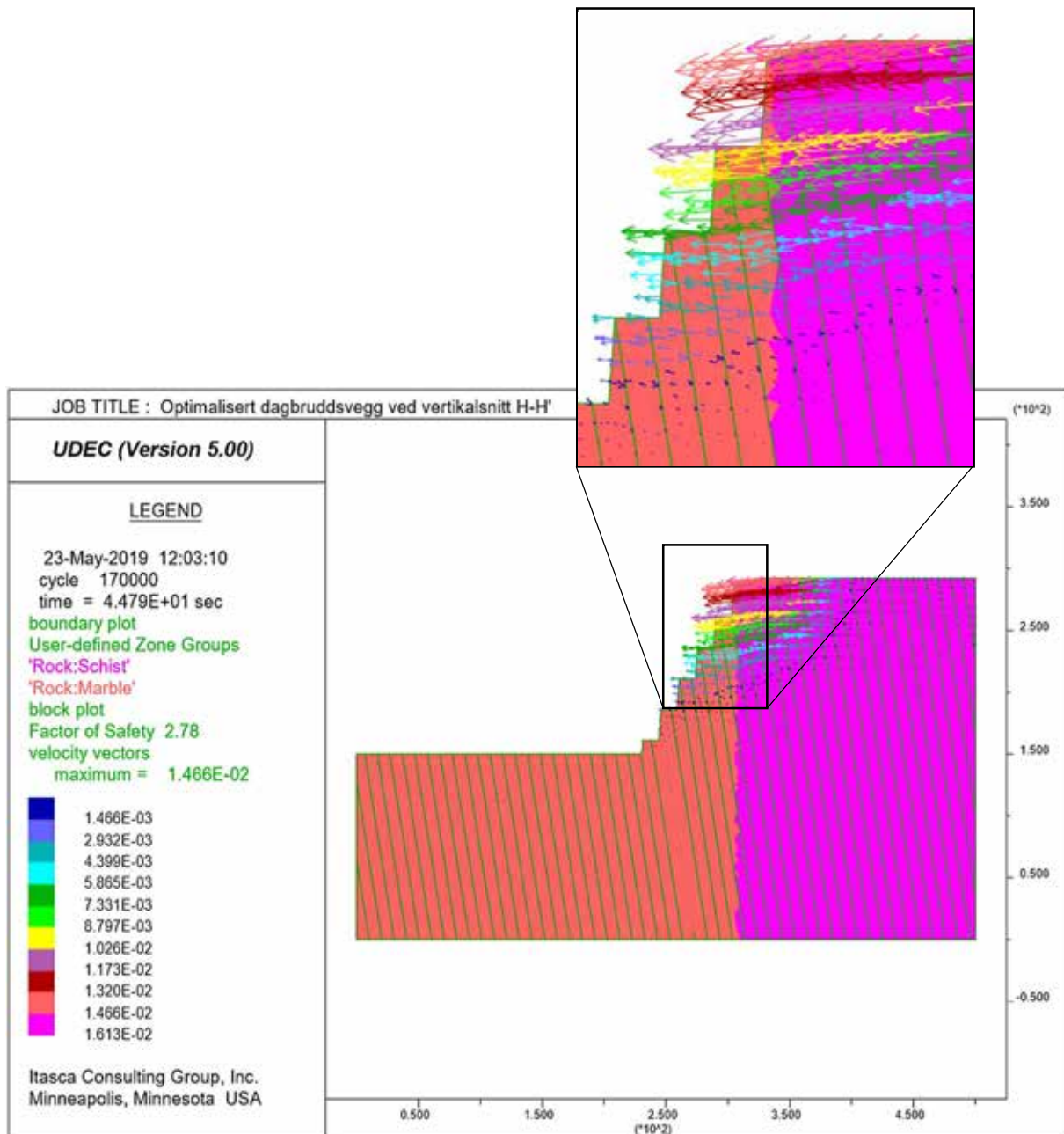


Figur 5: Stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert endelig dagbruddsvegg i vertikalsnitt F-F'. Totalvinkelen er 64°. Hastighetsvektorene viser en sirkulær bevegelse av bergmassen inn mot dagbruddet.

For vertikalsnitt F-F' er det utført stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert dagbruddsvegg med totalvinkel på 64° (Figur 5). Modellen viser to sprekkeseett og en bergartsgrense mellom kalsittmarmor (lilla) og granatglimmerskifer (rød). Hastighetsvektorene indikerer bevegelse i bergmassen ved brudd som følger begge sprekkeseett gjennom en sirkulær bevegelse som har utgående i overkant og fronten av dagbruddsveggen. Sikkerhetsfaktor er beregnet til 1.78.

5.10

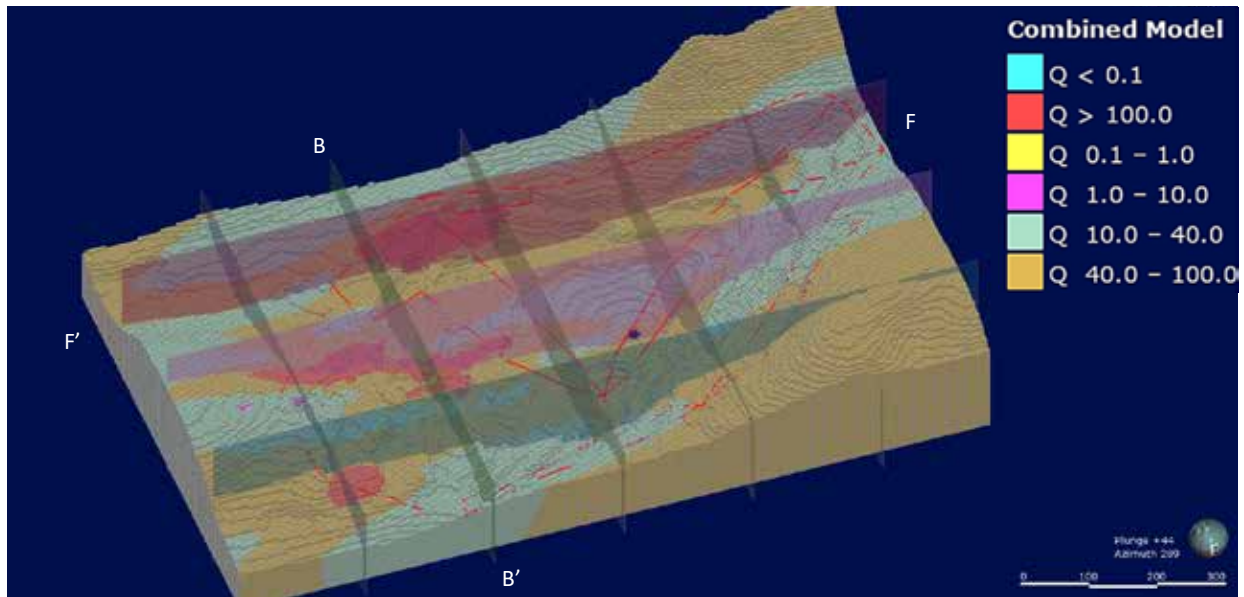
For vertikalsnitt H-H' er det utført stabilitetsanalyse i UDEC for optimalisert dagbruddsvegg med totalvinkel på 63° (Figur 6). Modellen viser et steiltstående sprekkesepp og en bergartsgrense mellom kalsittmarmor (rød) og granatglimmerskifer (lilla). Hastighetsvektorer beskriver en nær horisontal bevegelse av bergmassen, hvor toppen av dagbruddsveggen faller inn mot dagbruddet. Sikkerhetsfaktor er beregnet til å være lik 2.78. En ytterligere økning av dagbruddsvinkelen til 66° vil resultere i en sikkerhetsfaktor på 1.23.



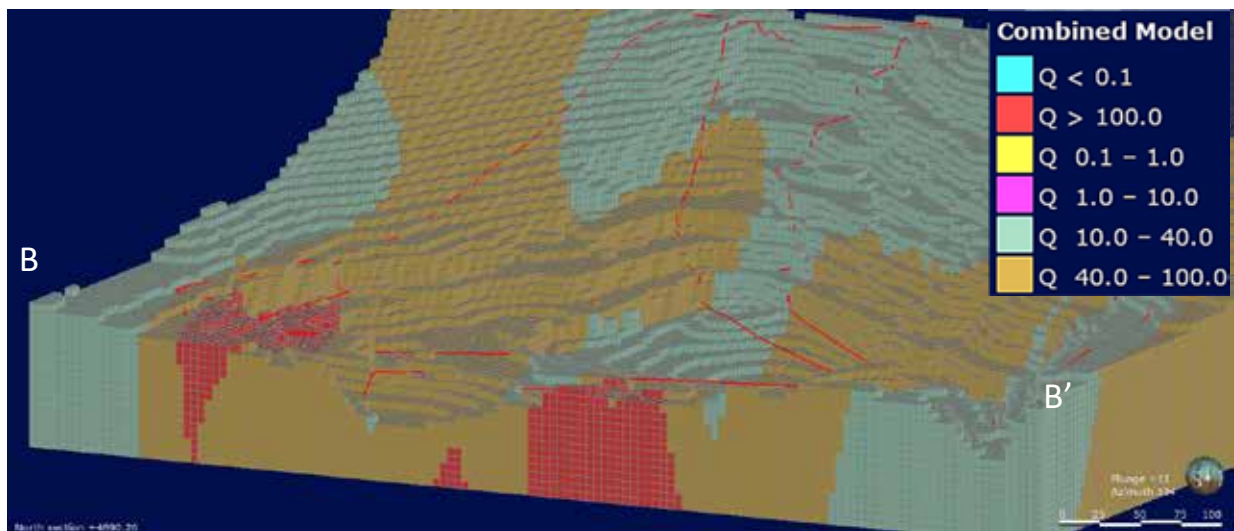
Figur 6: Stabilitetsanalyse i UDEC for endelig dagbruddsvegg i vertikalsnitt H-H'. Totalvinkelen er 63° . Hastighetsvektorene beskriver en nær horisontal bevegelse av bergmassen hvor toppen av dagbruddsveggen faller inn mot dagbruddet.

3D-modellering

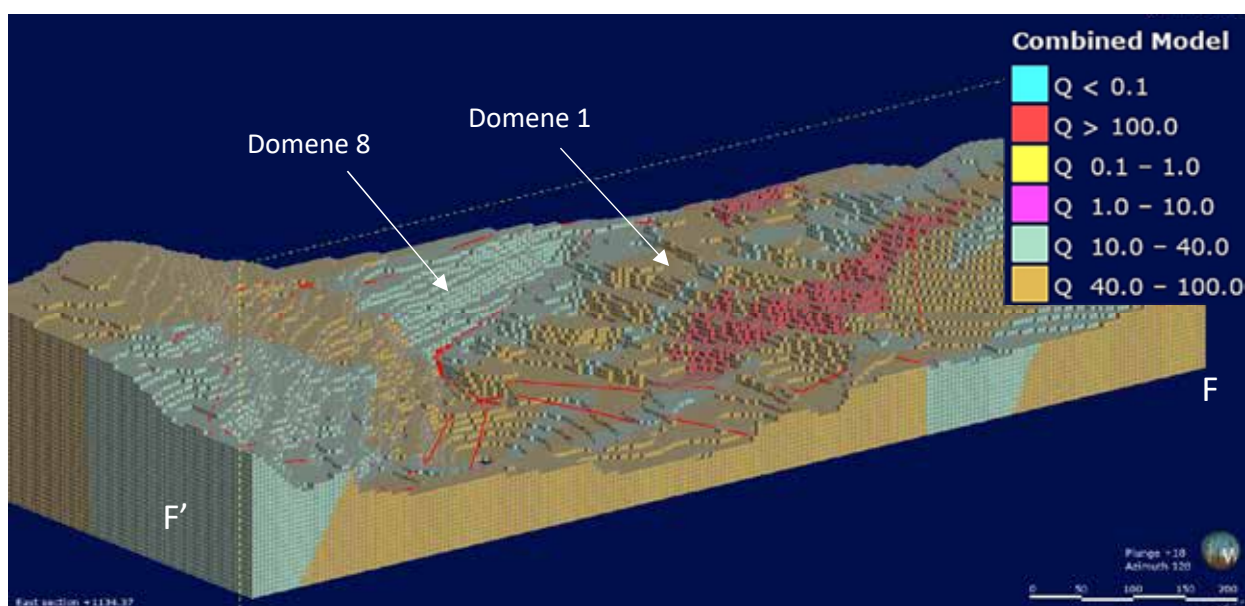
3D-modellen av Sentralbruddet i Figur 7 viser en langstrakt fordeling av bergmassekvalitetene $Q > 100.0$ (rød), $Q = 40.0 - 100.0$ (brun) og $Q = 10.0 - 40.0$ (grå) parallelt med strøket på forekomsten. Bergmassekvalitetene fremstår vekselvis på tvers av forekomstens strøk. Figur 8 og Figur 9 viser tverrsnitt i 3D-modellen, og det er tydelig tegn på at Q -verdien har lav anisotropi og grensen mellom bergmassekvalitet er nær vertikal.



Figur 7: Blokkmodell av Sentralbruddet hvor det vises en langstrakt fordeling av Q -verdi i bergmassen parallelt med strøket på forekomsten. Vertikalsnitt B-B' og F-F' er vist.



Figur 8: Vertikalsnitt B – B' med soner av bergmassekvalitet $Q > 100.0$ og $Q = 10.0 - 40.0$ i en grunnmasse av Q -verdi = $40.0 - 100.0$.



Figur 9: Vertikalsnitt F – F' med dominerende bergmasse $Q = 40.0 - 100.0$ med enkelte soner av bergmassekvalitet $Q = 10.0 - 40.0$.

DISKUSJON

Detaljstabilitet

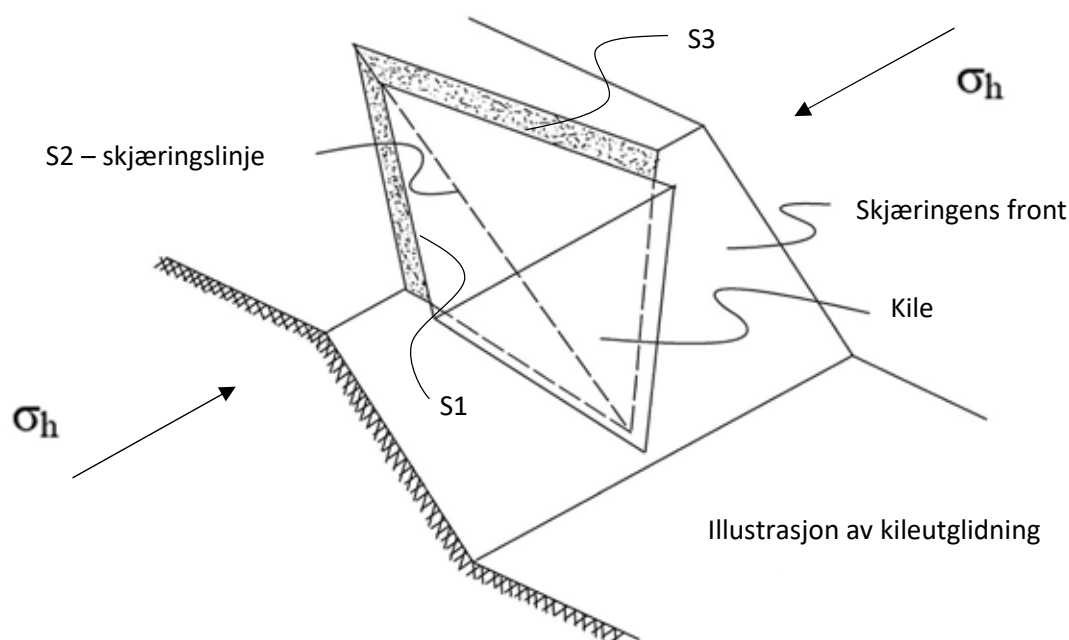
Grunnen til at utvelting er den dominerende bruddmekanismen skyldes dagbruddsveggen orientering i forhold til et nært vertikalt foliasjonssprekkesett og et svakt fallende eksfoliasjonssprekkesett som danner et blokkssystem i bergmassen. I store deler av dagbruddsområdet til Norcem Kjøpsvik er det indikert et sørøstlig fall på eksfoliasjonssprekkene (med unntak av domene 2 og 3). For den vestlige veggen (domene 4 og 9) vil dette innebære et plan som har fall inn mot dagbruddet og som resulterer i blokkutvelting og et mulig glideplan. Eksfoliasjonssprekkene har dermed et fall inn mot den østlige veggen (domene 6, 7, 8 og 11) og vil kunne fungere som et stabiliserende fundament for en blokkformet bergmasse. Faren for utvelting av blokkformet bergmasse vil mest sannsynlig være i den vestlige veggen.

I domene 2, 3, 4, 8, og 9 er foliasjonssprekkesettet orientert i samme fallretning som pallfront, og utfra en dominerende del av analysene vil en økning i pallfrontens fallvinkel føre til økt risiko for utglidning. Dette kommer av at foliasjonssprekkesettet danner en utgående i bunnen og i overkant av pallfronten. En fordelaktig situasjon for å øke fallvinkelen til det maksimale, vil være å innrette pallvinkel parallelt med foliasjonssprekkesettets fallvinkel, slik at sprekkesettet ikke krysser pallfronten. For granatglimmerskiferen vil dette være spesielt aktuelt med tanke på dens tydelige lagdeling. En avslutning av et dagbrudd vil kreve et stabilt design av dagbruddsveggen, som i tillegg er estetisk og fremstå som naturlig i forhold til miljø og omgivelser. Utfra analysene vil en fallvinkel i område av 70° - 74° redusere faren for ustabilitet i betydelig grad. Samtidig fremstår det som naturlig i forhold til naturen og miljøet rundt, og det vil være lettere for vegetasjon å etablere seg etter avsluttet produksjon og ved tilbakeføring.

Utfra orientering av horisontale bergspenninger i Kjøpsvik og den avlastende effekten lokale forhøyninger i terrenget og konveks design har på bergspenningene, så er det mest sannsynlig at ustabilitet forekommer i nordlig og sørlig ende av dagbruddsområdet. For domene 1, som er en del av en lokal forhøyning i terrenget, vil topografien fungere avlastende for omslutningstykket. Dette gjør spesielt øvre del av domenet utsatt. Slik det fremstår av den numeriske stabilitetsanalysen i UDEC for vertikalsnitt A-A' (Figur 3) og kinematisk analyse for domene 1, så er utglidning på pallnivå mest kritisk grunnet kryssning av svakhetsplan (kileutglidning).

Totalstabilitet

Stabilitetsanalysen i vertikalsnitt A-A' (Figur 3) indikerer at totalstabiliteten ikke er kritisk for brukt totalvinkel. En ytterligere økning til 42.0° vil derimot være truende for totalstabiliteten av dagbruddsveggen. Ved optimalisert totalvinkel 38.0° (Figur 3) vil det være mulig for S2 å danne utgående i bunnen og i overkant av dagbruddsveggen med en annen plassering, noe som kan redusere sikkerhetsfaktoren betydelig. Samtidig er det usikkert i hvilken grad det er gyldig å analysere S2 som plan utglidning når det er et resultat av kryssning av to sprekkesett, S1 og S3 (kileutglidning, se Figur 10). Kryssningen av sprekkesett S1 og S3 er opprinnelig i tre dimensjoner, men projiseres i planet (2D) ved analyse i UDEC som krysningslinjen mellom sprekkesettene. Ved analyse som plan utglidning i 2D vil et eventuelt stabiliserende omslutningstrykk neglisjeres. Stabilitetsanalyse i 3D (3DEC) vil kunne gi en mer realistisk stabilitetsvurdering for en slik situasjon.



Figur 10: Illustrering av kileutglidning (wedge failure) langs skjæringslinjen S2, som et resultat av kryssningen mellom sprekkesett S1 og S3. S2 analysert som plan utglidning i UDEC. Modifisert etter Hoek and Bray (1981).

Ved stabilitetsanalyse for optimaliserte dagbruddsvinkler i vertikalsnitt D-D', E-E', F-F' og H-H', er det registrert at sikkerhetsfaktoren har økt med økende totalvinkel i forhold til dagbruddsvegg designet av Norcem Kjøpsvik. For vertikalsnitt G-G' er det registrert en nedgang i sikkerhetsfaktor og totalvinkel sammenlignet med design fra Norcem Kjøpsvik. En optimalisert dagbruddsvegg for vertikalsnitt D-D' og H-H' gir imidlertid et tydelig fall i

sikkerhetsfaktor med ytterligere økning i totalvinkel. Parallelt med økning av totalvinkel er det også registrert økning i maksimal hastighetsvektor og tetthet av hastighetsvektorer i bergmassen. Dette kan gi indikasjon på at økende totalvinkel og reduksjon i dagbruddveggenes dybde gir større bevegelse i bergmassen, noe som er forventet.

For å vurdere stabilitet for et bestemt område, er det i mange sammenhenger benyttet gjennomsnittlig verdi for bergmassekvaliteten som helhet. Om dette er representerbart for stabiliteten vil i stor grad avhenge av fordelingen av bergmassekvalitet. Det er naturlig å anta at ustabile bergmasser vil følge minste motstands vei slik at lavest estimerte verdi vil være gjeldende for stabiliteten. Dette kommer tydelig frem i tilfeller hvor bergmassekvaliteten er sammenhengende, f. eks i en større forkastningssone eller i svake bergartslag. I tilfellet hos Norcem Kjøpsvik er det naturlig å tro at en potensiell bruddkurve krysser en rekke definerte soner av bergmassekvalitet som er vekslende og har markante skiller i vertikal retning. Dette begrenser tydelige svakheter i bergmassen. Å definere bergmassekvaliteten med en gjennomsnittlig verdi for det analyserte området vil være ansett som gyldig for storskala stabilitet. I tillegg er en dominerende del av bergmassen definert med Q-verdi i området 10.0 – 100.0 og dermed kvalifisert som god til veldig god kvalitet. Det er ikke identifisert tydelige svake områder med lav Q-verdi som truer detalj- eller totalstabiliteten.

KONKLUSJON

Blokkmodell av Q-verdi har ikke identifisert bergmekaniske utfordringer som truer stabiliteten av planlagt endelig dagbruddsvegg. Store deler av bergmassen i dagbruddet er klassifisert med Q-verdi i området 10.0-100.0 og ansees som god til veldig god kvalitet.

Bøyeelig og blokkutvelting er den dominerende bruddmekanismen i dagbruddsveggene orientert parallelt med strøket på forekomsten, grunnet kryssende foliasjons- og eksfoliasjonssprekkesett. I områder hvor eksfoliasjonssprekkesettet faller ut av dagbruddsveggen er blokkutvelting ansett som bruddmekanisme, mens hvor det faller inn i dagbruddsveggen er bruddmekanisme sett på som bøyeelig utvelting. Kileutglidning og plan utglidning forekommer med størst sannsynlighet i sørlig og nordlig ende av dagbruddsområdet. Det er dermed anbefalt å tilpasse bredden av pallnivået og orienteringen av pallveggen på en måte at utgående av kryssende sprekkese sett ikke er lokalisert i pallens front. For pallnivå lokalisert i granatglimmerskifer anbefales det å tilpasse pallfrontens fallvinkel etter foliasjonens fallvinkel. I resterende områder er det anbefalt å benytte en verdi for pallvinkel i intervallet 70° - 74° , som samtidig muliggjør at endelig dagbrudd etter avsluttet brudd vil kunne tilbakeføres på en fornuftig måte som er i samsvar med omgivelsene og miljøet rundt.

Totalvinkelen for alle vertikalsnitt designet av Norcem Kjøpsvik er ansett som stabile. En optimalisering av dagbruddets totalvinkel har vist seg å være mulig i alle vertikalsnitt med unntak av G-G'. Tabell 2 viser anbefalte totalvinkler for tilhørende geotekniske domene i dagbruddsområdet. Vinklene er anbefalt med utgangspunkt i dybde av endelig dagbrudd fra Norcem Kjøpsvik.

Tabell 2: Anbefalte totalvinkler for geotekniske domener i dagbruddsområdet

Domene	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anbefalt totalvinkel [°]	38.0	72.0	57.0	57.0	52.0	50.0	50.0	63.0	64.0	52.0	63.0

REFERANSER

- ARANZ GEO 2014. User Manual for Leapfrog Geo version 2.1. P O Box 3894, Christchurch 8140, New Zealand: ARANZ Geo Limited.
- DMF 2016. Driftsplanveileder. N-7441, Trondheim: Direktoratet for mineralforvaltning med bergmesteren for Svalbard.
- HANSSEN, T. H. 1998. Fjellspreningskonferansen. *Fjellspreningskonferansen*. Oslo.
- HOEK, E. & BRAY, J. 1981. Graphical presentation of geological data. *Rock Slope Engineering*. 3. ed. London: Institute of Mining and Metallurgy.
- ITASCA 2011. User Manual. Minneapolis, Minnesota, USA: Itasca Consulting Group Inc.
- LARSEN, T., JAKOBSEN, P. D. & DAHLE, H. 2007. 2D spenningsmåling i takhull ved Akselberg, Brønnøy Kalk AS. Sintef Byggforsk, Berg og geoteknikk.
- MORK, H. 2019. *RE: Bergspenningsmålinger fra Franzefoss Minerals AS, Ballangen*.
- NORCEM 2019. Database, Geovia Surpac.
- ROCSCIENCE 1998. Phase2 - Users Guide. Rocscience Inc.
- ROCSCIENCE 2016. Dips v.7.0 Graphical & Statistical Analysis of Orientation Data (Tutorial Manual) *In: ROCSCIENCE* (ed.).
- THORESEN, S. P. 2019. *Dagbruddsstabilitet i Norcem Kjøpsvik*. Master Sivilingeniør, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

**VURDERING AV UTFØRT BERGINJEKSJON I NORSKE TUNNELPROSJEKTER
- PRESENTASJON AV RESULTATER FRA PHD OG TIGHT-PROSJEKTET****Assessment of rock mass pre-grouting in Norwegian tunnelling projects -presentation of results from PhD and the TIGHT project**

Helene Strømsvik, PhD, SINTEF

SAMMENDRAG

Forinjeksjon av bergmasse under tunneldriving er en tidkrevende og kostbar prosedyre, som også har stor innvirkning på totalforbruket av sement i tunnelprosjekter. Av denne grunn er det viktig å optimalisere prosessen, ved å raskt tilpasse seg gjeldende forhold, både med hensyn til valg av injeksjonsmasse og metodikk.

Forskningsprosjektet TIGHT (2014-2018) hadde som formål å øke forståelsen av berginjeksjon til en slik grad at det ville føre til en betydelig differensiering i bruk av materialer og trykk avhengig av faktiske forhold for ethvert prosjekt. En PhD knyttet til TIGHT prosjektet hadde som hovedmål å oppnå en økt forståelse av berginjeksjon ved bruk av høyt injeksjonstrykk, samt vurdere om dagens praktiske utførelse av berginjeksjon er gunstig med hensyn til reduksjon av innlekkasje, samtidig som økonomi og miljø er ivaretatt.

En tunnel som er tett nok til at de stedlige innlekkasjekravene er oppfylt er det viktigste målet, da dette ivaretar miljø, overliggende konstruksjoner og infrastruktur. Men; en vellykket injeksjon bør ikke bare bedømmes i forhold til oppnådd reduksjon av innlekkasje, faktorer som økonomi og miljø bør også inkluderes. For å kunne praktisere dette er det viktig at man har god kjennskap til egenskapene til injeksjonsmassen som benyttes, samt tilgang på tilgjengelige verktøy for å utføre tilpasning av prosedyrer, slik som analyseverktøy i software og trent personell.

SUMMARY

Pre-Grouting of rock mass during tunnelling is a time-demanding and costly procedure, which also has a significant impact on the total consumption of cement in tunnel projects. Thus, the importance of optimization of the grouting process by quickly adapting to changing ground conditions, both with respect to grout type and pre-grouting methodology.

The research project TIGHT (2014-2018) had the main goal of increasing the understanding of rock mass grouting to such extent that it would lead to a significant differentiation on use of materials and pressure pending on the actual circumstances for any given project. A PhD connected to the TIGHT project had the fundamental objective to increase the understanding of rock mass grouting with the use of high grouting pressure and to investigate if the current grouting practice is optimal considering reduction of water inflow in tunnels, in line with good economy and caretaking environmental aspects.

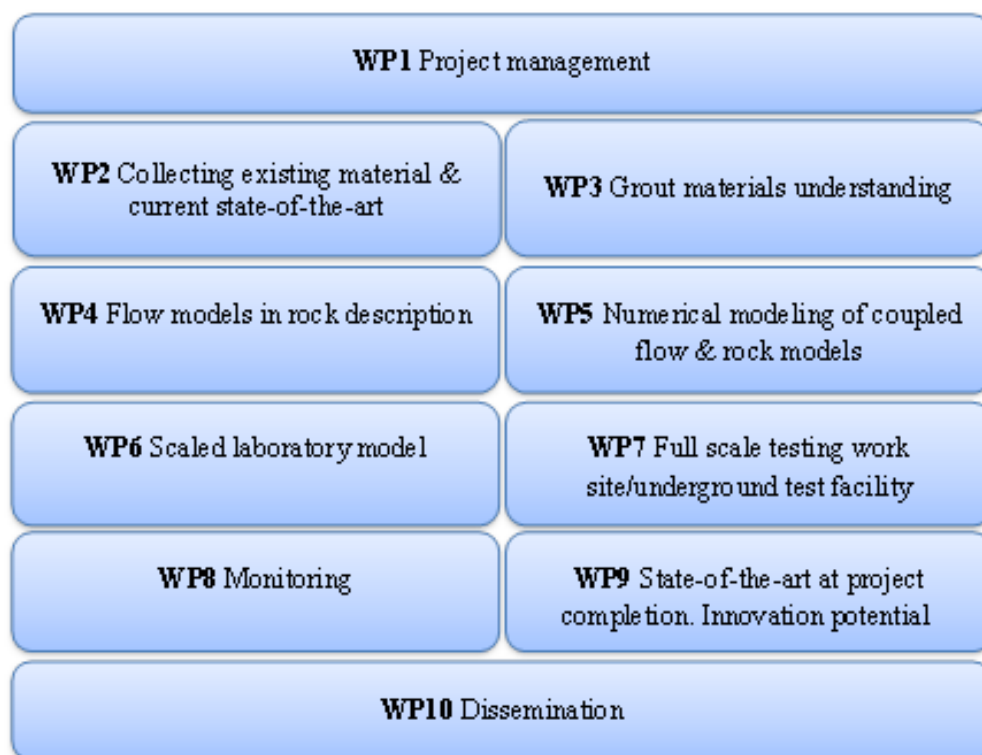
A tunnel that is tight enough to meet the requirements concerning water inflow is the principal objective, since this caretakes the relations to functionality, surface structures and

environment. However, a successful grouting should not only be evaluated by inflow requirements, but economy and environment should be included as well. To execute this, it is important with adequate knowledge of the grout properties and to have access to the necessary tools to adapt to the local ground conditions, such as analyzing software and trained personnel.

INNLEDNING

Berginjeksjon er et teknisk og komplekst tema som krever materialkunnskap, utstyrskompetanse, bergmekanisk forståelse, praktisk erfaring og geologisk bakgrunn for de som er ansvarlig for planlegging og utføring av injeksjonen. TIGHT-prosjektet har forsket på problemstillinger som dekker et bredt spekter av dagens injeksjonspraksis, fra den teoretiske forståelsen til den praktiske utførelsen. Mange av forskningsresultatene har betydning for dagens injeksjonspraksis og disse oppsummeres kort i denne publikasjonen.

TIGHT (True Improvement in Grouting High pressure Technology for tunnelling) var et KPN (Kompetanseprosjekt for Næringslivet) i Norges Forskningsråds program BIA (Brukerstyrt Innovasjonsarena) og forløp over perioden 2014 til 2018. Hovedformålet med prosjektet var å øke forståelsen av berginjeksjon til en slik grad at de ville føre til en betydelig differensiering i bruk av materialer og tykk avhengig av faktiske forhold for ethvert prosjekt. TIGHT ble organisert i forskjellige arbeidspakker, som vist i Figur 1, der arbeidspakkene jobbet med ulike tematikker som spenner fra testing av injeksjonsmasse, fullskala feltforsøk, numeriske simuleringer til geofysiske målinger. I tillegg til disse arbeidspakkene ble det utført en PhD og seks masteroppgaver i tilknytning til prosjektet. En detaljert beskrivelse av arbeidspakker, PhD og MSc-oppgaver finnes i TIGHT sin sluttrapport, *Grøv et al. (2020)*. Et kort utdrag av hovedelementene fra prosjektet og PhD presenteres i denne teksten.



Figur 1, TIGHT-prosjektets inndeling i arbeidspakker (WP) (Grøv et al., 2020).

Følgende bedrifter, institusjoner og organisasjoner har deltatt i og bidratt til at TIGHT har blitt gjennomført:



Hovedformålet i PhD-arbeidet var å oppnå en økt forståelse av berginjeksjon ved bruk av høyt injeksjonstrykk, samt vurdere om dagens praktiske utførelse av berginjeksjon er gunstig med hensyn til reduksjon av innlekkasje, samtidig som økonomi og miljø er ivarettatt.

På grunn av at noe av fokuset i prosjektet har vært rettet mot bruken av høyt trykk, er det flere i bransjen som derav har oppfattet at agendaen har vært å redusere trykkbruken. Her kan det kommenteres at det i arbeidet helt fra oppstart har vært en helt objektiv og nøytral holdning til injeksjonstrykket, uten noen form for forhåndsoppfatninger, der agendaen har vært å observere hva som faktisk foregår under injeksjon og se nærmere på hva som er et gunstig injeksjonstrykk.

Injeksjonstrykket som blir benyttet ved berginjeksjon i Norge er på generell basis signifikant høyere enn i andre land på verdensbasis. Bruken av høyt trykk har sin opprinnelse fra årtier med injeksjon av bergrom, undersjøiske tunneler og tunneler i forbindelse med vannkraft. Videre ble injeksjonstrykket ytterligere forankret i bransjen i forbindelse med forskningsprosjektet miljø og samfunnstjenlige tunneler, utført i begynnelsen av 2000-tallet (*Klüver og Kveen, 2004*). Generelt sett er det begrenset forskning som dokumenterer både fordelene og ulempene ved bruken av høyt trykk. Til tross for en bred empirisk basis er det fortsatt uavklarte tematikker relatert til injeksjonstrykket.

Noen av disse er:

1. Hvilket trykk er til enhver tid gunstig å benytte for å oppnå en vellykket injeksjon med tanke på oppnådd krav til innlekkasje, forbruk av injeksjonsmasse og tid?
2. Hva skjer i bergmassen under injeksjon ved høyt trykk? Med dette spørsmålet siktes det spesielt til situasjoner der det stedlige injeksjonstrykket i bergsprekkene overgår innspenningen fra bergmassen.
3. Er spredningen av injeksjonsmasse som forventet, men hensyn på trykk, type injeksjonsmasse og sprekkeåpningen?

De overstående spørsmålene ble betraktet gjennom ulike metodikker, både i TIGHT og i PhD-arbeidet.

RESULTATER FRA TIGHT-PROSJEKTET

Som vist i Figur 1 var prosjektet delt inn i ulike arbeidsområder som dekket følgende; laboratorietesting av injeksjonssementer, numerisk modellering av strømming av injeksjonsmasse, laboratoriemodell, fullskala testing på anlegg og monitoreringsmetoder. I det følgende presenteres utdrag fra oppsummeringen av sluttrapporten til TIGHT, *Grøv et al. (2020)*.

Laboratorietester av injeksjonssement

Det ble utført et stort utvalg av laboratorietester på flere injeksjonssementer ved ulike v/c-forhold og temperaturer, med og uten tilsetningsstoffer; enaksiell trykkfasthet (UCS), filtrasjon, stabilitet, avbinding, konsistens, kalorimetri, densitet, overflateareal på sementkorn (BET), kornfordeling og permeabilitet. For å ivareta alle partnernes interesser har det vært viktig for prosjektet å ha et objektivt forhold til resultatene og derav ble det nødvendig å anonymisere mye av resultatene. Grunnen til dette er at testene ikke nødvendigvis representerer produktens prestasjoner i praksis på anlegg, på grunn av stedlige forhold som temperaturer, geologi og blandemetoder. Følgende publikasjoner ble publisert fra dette arbeidet: *Bohloli et al. (2016)*, *Skjølsvold og Justnes (2016)*, *Justnes og Skjølsvold (2017)* og *Bohloli et al. (2018)*

Generelt sett kan det konkluderes med at resultatene fra laboratorietestene viser at det man forventer teoretisk sett kan divergere betydelig fra resultatene man får i praksis. Det er utfordrende å finne den optimale sementblandingen, og produkter med tilsynelatende samme egenskaper oppfører seg veldig ulikt. Kombinasjoner av ulike produkter er også uforutsigbart. Tester på sement utført i arbeidspakke 6 (laboratoriemodell), viser også at blanding av sement ved bruk av kolloidalmikser, tilsvarende blandemetode som i felt, gir andre resultater enn blanding ved bruk av laboratoriemikser. Resultatene viser at det er svært viktig at alle prosjekter utfører relevante tester på de sementblandingen man skal bruke under stedlige forhold, samt benytter tilsvarende blandemetode som man skal benytte ved injeksjon på anlegg.

Numerisk modellering

I to av arbeidspakkene i prosjektet omfattet bruk av numerisk modellering og simulering for å studere hvordan injeksjonsmassen beveger seg i bergmassen. I arbeidspakke 4 ble det blant annet gjort en vurdering av hvilke parametere som medvirker til trykktap i injeksjonsmassen ettersom den sprer seg i sprekke. Det ble via numerisk modellering gjort en vurdering av ulike friksjonsparametere og hvilke som har størst bidrag på trykktapet, som i praktisk betydning betyr den motstand under pumping som måles som trykk på injeksjonsriggen. Her ble det avdekket at i tillegg til størrelsen på sprekkeåpningen er det de viskøse egenskapene til sementen som er friksjonsparametere som dominerer, spesielt i små sprekker. Ved simulering ble det vist at vinkelen for hvordan borhullet treffer en sprekke i bergmassen har liten betydning for spredningen av injeksjonsmasse, så lenge sprekken er injiserbar på det punktet borhullet krysser sprekken.

Den numeriske simuleringen utført i arbeidspakke 5 benyttet teoretisk formelverk i kombinasjon med faktiske data fra utført injeksjon. Ved å benytte denne metodikken ble det bekreftet at det er mulig å innhente informasjon om sprekkesystemet man injiserer underveis i injeksjonen, samt definere hendelser som hydraulisk jekking under injeksjonsforløpet. Dette er også mye av tankegangen, metodikken og formelverket rundt RTGC-metoden (Real Time Grouting Control). *Stille (2015)* gir en inngående beskrivelse av RTGC-metoden. For å kunne benytte slike simuleringer i praksis, som et verktøy for å beskrive bergmassen som injiseres, kreves det mye fortløpende informasjon om de reologiske egenskapene til injeksjonsmassen. Forskningsmiljøet i Sverige (KTH og Chalmers) jobber kontinuerlig med disse problemstillingene. Denne typen beregninger kan ha et stort potensial i fremtiden.

Følgende publikasjoner ble utgitt innenfor numerisk modellering: *Bjørnara et al. (2016)*, *Skjetne og Mo (2016)* og *Bjørnara et al. (2017)*.

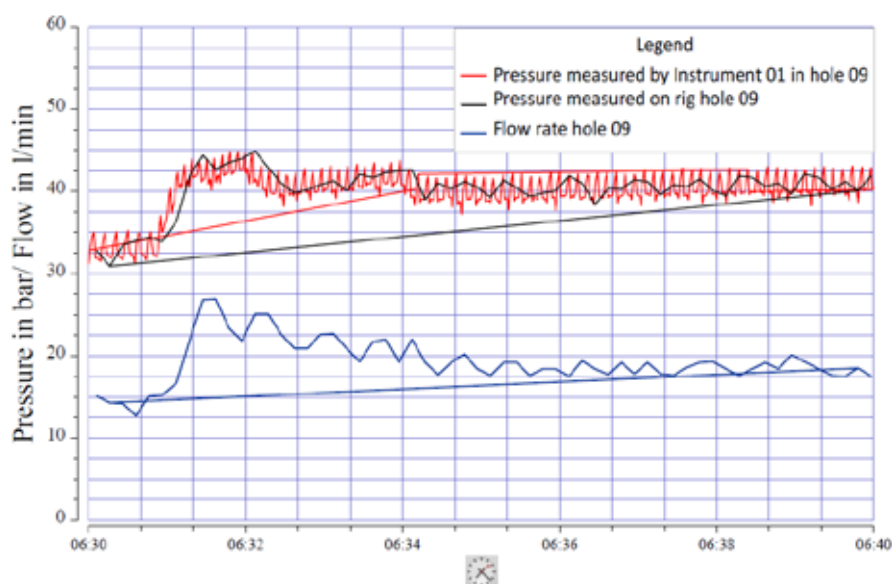
Laboratoriemodell

I forkant av design og konstruksjon ble det utført et omfattende litteraturstudie på laboratiemodeller for injeksjonssement, *Vistnes et al. (2017)*. Bygging av laboratiemodellen endte som en tidkrevende prosess, preget av forsinkelser i produksjonen og leveranser av utstyr. Hovedårsaken til dette var ønsket om å injisere ved høyt injeksjonstrykk tilsvarende det som brukes i praksis ved forinjeksjon av bergmasse i tunnel. Høye trykk ved laboratorietesting krever at man har en svært sikker modell, som er dimensjonert til å tåle forsøk ved slike trykk. Ved TIGHT-prosjektets slutt ble det derfor ikke utført tester av den endelige sprekkemodellen, men det ble utført Marsh Cone-test og bordutflytningstest med to blandinger tilsvarende to av blandingenene benyttet i arbeidspakke 3, ved å benytte kolloidalmikser. Dette arbeidet er publisert i *Vistnes og Nilsen (2018)*.

Resultatene viser at det er betydelig forskjell mellom blandingenene og indikerer at viskositeten er høyere i sement blandet med kolloidalmikseren versus laboratiemikseren. At blanding ved bruk av kolloidalmikser, gir andre resultater enn blanding ved bruk av laboratiemikser, bekreftes også av flere studier (*Dalmalm, 2001, Hjertström og Pettersson, 2006, Draganović, 2009*).

Fullskala undersøkelser i tunnel

Arbeidet utført i arbeidspakke 7 satte fokus på bruk av informasjonen som er tilgjengelig under injeksjonsarbeidene. Det ble utviklet utstyr, som på en enkel og rimelig måte kan registrere og logge trykket i injeksjonshullet under selve injeksjonen. Arbeidet med dette utstyret ble påstartet av NGI i forkant av TIGHT-prosjektet, men ble videreutviklet og antall målenheter ble utvidet. Målingene viste at det er ubetydelig trykktap mellom rigg og injeksjonshull. I flere av publikasjonene fra feltarbeidet er det tilsynelatende betydelige forskjeller mellom trykk målt i hull og på rigg, men dette skyldes at det var problemer med å få de vannfylte sensorene helt tette, noe som igjen medførte at det i noen hull ble registrert for lavt trykk. Figur 2 viser at det er ubetydelig forskjell mellom trykk målt på rigg og i injeksjonshull.



Figur 2, grafisk visning av trykk- og strømningsforløp registret på injeksjonsrigg og trykkregistrering i injeksjonshull (Tunbridge og Nilsen, 2018).

Måling av injeksjonstrykk i injeksjonshull under hydraulisk jekking kan også ha et potensiale til å gjøre vurderinger av bergspenninger, men for å komme dit må det utføres mer forskning på området.

Publikasjoner i forbindelse med dette arbeidet: *Tunbridge et al. (2016a)*, *Tunbridge et al. (2016b)*, *Tunbridge et al. (2017)* og *Tunbridge og Nilsen (2018)*.

Monitorering

Arbeidspakke 8 undersøkte metoder for å dokumentere spredning av injeksjonsmasse i berget. Det er en utfordring å gjøre vurderinger av spredning av sement i bergmasse, da man per dags dato ikke har noen gode verktøy for å kartlegge den faktiske beliggenheten av sprekker, sprekkeorienteringer, eller størrelsen på sprekkeåpninger. I tillegg er det vanskelig å finne gode metoder for å kunne "se" i bergmassen. I dette prosjektet ble Ground Penetrating Radar (GPR) benyttet som et verktøy for å evaluere spredning av sement i bergmasse. Resultatene var lovende, og det hadde vært interessant å utføre flere tester ved bruk av GPR for å utforske potensialet nærmere.

Publikasjoner i forbindelse med dette arbeidet: *Bazin et al. (2018)* og *Bazin (2018)*.

RESULTATER FRA PHD

PhD arbeidet hadde fokus på å dokumentere dagens injeksjonspraksis og forskningen ble utført fra hovedsakelig to vinklinger:

1. Tolkning av data fra injeksjonsrigger; her ble det laget en stor database med overdekning, geologisk kartlegging, type injeksjonsmasse, skjermgeometrier og rådata fra injeksjonsrigger, som ble benyttet til tolkning av injeksjonsforløp og statistiske analyser.
2. Feltstudie av injisert bergmasse; i dette studiet ble det kjerneboret 9 hull med 10 meters dybde i injisert bergmasse på Åsland i forbindelse med Follobanen. Det ble foretatt kjernelogging for å finne sement i bergsprekker og bestemme bergartstyper, videre ble det utført Optisk Televiwer, etterfulgt av vanntapsmålinger med høy nøyaktighet i hver halvmeter i alle hull. All data ble sammensatt i en 3-D modell.

I det videre presenteres et utdrag fra punkt 1; tolkning av data fra injeksjonsrigger. Studiet i punkt 2 er publisert i *Strømsvik og Gammelsæter (2020)* og oppsummeres i PhD-avhandlingen, *Strømsvik (2019a)*.

Tolkning av data fra injeksjonsrigger

I første fase ble det laget en database bestående av 165 injeksjonsskjermer i syv norske tunneler. Denne databasen ble filtrert basert på loggefrekvens, tilgjengelig bakgrunnsdata og type injeksjonsmasse. Data med loggefrekvens lavere enn hvert 10. sekund og manglende bakgrunnsinformasjon ble ekskludert fra datasettet. Tabell 1 presenterer injeksjonsskjermene som ble bruk til videre dataanalyse, der tunnelene er anonymisert. I alle unntatt to av injeksjonsskjermene representert i denne oversikten, var utført injeksjon vellykket med hensyn på oppnådd innlekkasje. Alle skjermene har vært utført under "normale" norske forhold, uten ekstreme overdekninger eller høye grunnvannstrykk.

Tabell 1, oversikt over tunneler og injeksjonsskjermer benyttet som database. Industrisement betegnes OPC og mikrosement betegnes MFC (Strømsvik, 2019a).

Tunnel	Rounds	Holes	Type cement	Overburden	Geology	Target Pressure
A	31	1012	OPC	9-45 m	Gneiss with veins of Diabase	60-80 bar
B	8	332	MFC	65-100 m	Gneiss with veins of Amphibolite and Pegmatite	80 bar
C	12	429	9 MFC 3 OPC	24-86 m	Gneiss with veins of Amphibolite and Pegmatite	60-80 bar
D	16	581	8 MFC 8 OPC	165-200 m	Banded gneiss	80 bar
E	6	227	1 MFC 5 OPC	183-188 m	Amphibolite	80 bar
F	18	810	OPC	23-78 m	Monzonite	80 bar

Ved tolkning av trykk og strømningsraten over tid ble det observert markante hendelser i injeksjonsforløpet i form av plutselig hendelser med trykktap og økt strømming. Dette ble tidlig vurdert til å ha en signifikant betydning for forbruk av sement og tid. En slik hendelse er vist i graf øverst i Figur 3. Disse hendelsene ble antatt til å trolig være hydraulisk jekking av bergmassen og det ble derfor lagt ekstra søkelys på disse hendelsene. Basert på publikasjonene *Lombardi og Deere (1993)*, *Stille (2015)*, *Warner (2004)* og *ASTM International (2004)* kombinert med visuell analyse av loggene, ble det skrevet en algoritme for å utføre automatisk detektering av potensielle hendelser av hydraulisk jekking i injeksjonsloggene. I forbindelse med dette arbeidet ble det også utviklet en indeks, kalt for PF-indeksen, som er en hjelpeparameter under tolkningen. En grundig beskrivelse av dette arbeidet er publisert i *Strømsvik et al. (2018)*. I det følgende, beskrives prosessen i grove trekk.

Tolkning av hydraulisk jekking

I denne sammenhengen defineres hydraulisk jekking som at det stedlige trykket i injeksjonsmassen overgår normalspenningene på sprekken, slik at det oppstår en plutselig dilatasjon av sprekken. Hydraulisk jekking av sprekker skaper et økt sprekkevolum, som forplanter seg i trykk og strømningsloggen, ofte i form av plutselig trykktap kombinert med økt strømningsrate. Avhengig av innstillinger og kapasitet på injeksjonsriggen, kan responsen i loggen variere noe. Dette betyr at det også kan ha oppstått hydraulisk jekking ved trykktap under konstant strømningsrate, eller økt strømming underkonstant trykk. Det mest utfordrende med denne typen tolkning er at lignende trykk og strømningsadferd også kan oppstå ved andre hendelser under injeksjonen, som følger:

1. Sementbasert injeksjonsmasse har motstand mot flyt (ofte betegnet som en Binghamvæske). Etter stans i injeksjonen, må massen dyttes i gang før den begynner å flyte. Dette medfører en liten trykkoppbygning, etterfulgt av trykktap og økt strømming, i det massen går over til flytende form.
2. Sprekkefyll vil kunne gi innsnevring og blokader i sprekker. Om disse eroderes i løpet av injeksjonen vil dette kunne gi trykktap og økt strømming.
3. Brå økning i strømningsraten under fylling av en svært åpen sprekk, da dette ofte vil medføre relativt liten/ingen respons i trykkøkning.

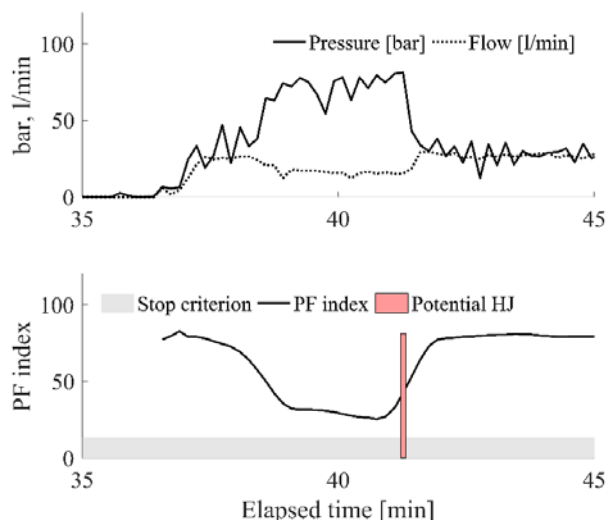
Under utforming av algoritmen var det mulig å ta hensyn til punkt 1 og 3, som reduserte falske positive registreringer av hydraulisk jekking, med den konsekvensen at det også fjernet noen reelle hendelser. I denne tolkningen var det viktig å være på den konservative siden ved å redusere andelen falske positive hendelser.

I praksis kan man si at hydraulisk jekking i stor grad kan defineres av relasjonen mellom strømningsraten og injeksjonstrykket. For å fremheve dette forholdet på en gunstig måte for denne typen tolkning, ble det laget en ny parameter, PF-indeksen (Formel 1)

$$PF\ indeks = 0.9 \frac{min}{l} * Q - \frac{0.9 * P}{1\ bar} + 81 \quad (1)$$

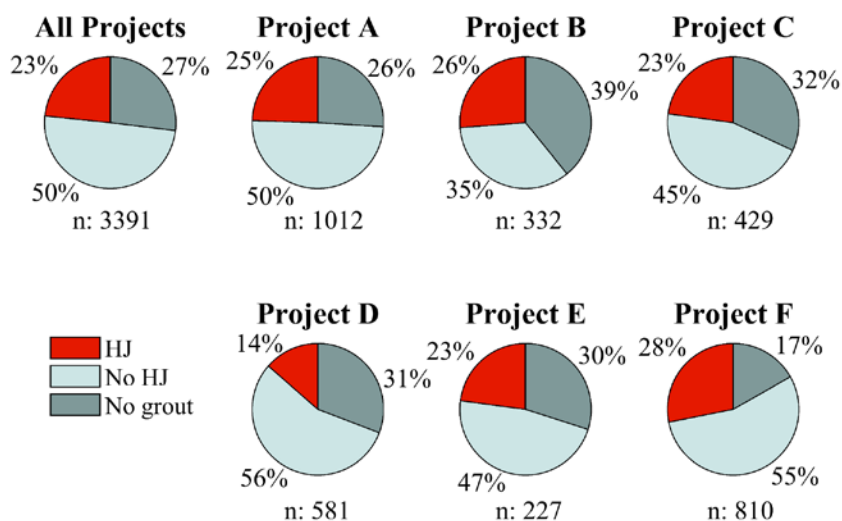
Der Q er strømningsraten og P er injeksjonstrykket målt på riggen.

Figur 3 viser en grafisk fremstilling av trykk, strømningsrate og PF-indeks, under en hendelse som kan indikere hydraulisk jekking. Her kan det også observeres at fluktueringer grunnet pumpeslag er filtrert bort.



Figur 3, øverst: grafisk framstilling av trykk og strømming under en potensiell hendelse av hydraulisk jekking, nederst: grafiske fremstilling av PF-indeksen, med indikasjon for hydraulisk jekking (Strømsvik et al., 2018).

Den utviklede algoritmen ble kjørt på hele datagrunnlaget presentert i Tabell 1. Figur 4 viser kakediagram med andel av injeksjonshull hvor det ble indikert hendelser av hydraulisk jekking. Her vises også andel injeksjonshull som tar mindre injeksjonsmasse enn hullvolumet.



Figur 4, andel injeksjonshull med og uten hydraulisk jekking og andel hull som tar mindre injeksjonsmasse enn hullvolumet (Strømsvik, 2019b).

Videre ble det utført parameterstudier på datagrunnlaget. Hovedformålet med parameterstudiene var å få et bedre og sammensatt bilde av faktorer som bidrar til forbruk av injeksjonsmasse. Følgende parametere var del av studiet:

1. Volum injeksjonsmasse per skjerm
2. Bergmasseklassifisering (hentet fra kartlegging på stoff, der alle parameterne i Q-systemet ble vurdert enkeltvis)
3. Prosentandel hull med ingen forbruk (forbruk lavere enn hullvolum)
4. Prosentandel hull der hydraulisk jekking var indikert
5. Makstrykket ved injeksjon
6. Gjennomsnittlig injeksjonstrykk over tid
7. Injeksjonstid
8. Antall injeksjonshull per skjerm
9. Hulldybde
10. Type injeksjonsmasse

For en detaljert beskrivelse av metode og resultater henvises det til Strømsvik (2019b). I første fase ble det utført en korrelasjonsanalyse på punkt 1 til 9 på den ovenstående listen. I hovedtrekk kan det oppsummeres med at den parameteren som ble funnet til å ha sterkest korrelasjon til forbruk av sement var forbruk av tid, både for skjermes injisert med mikrosegment og industri. Ved injeksjon av mikrosegment var det en sterk korrelasjon med prosentandel hull med hydraulisk jekking. Utover dette ble det ikke funnet noen klar korrelasjon mellom forbruk av injeksjonsmasse og noen av parameterne fra punkt 2 til 9 på den ovenstående listen.

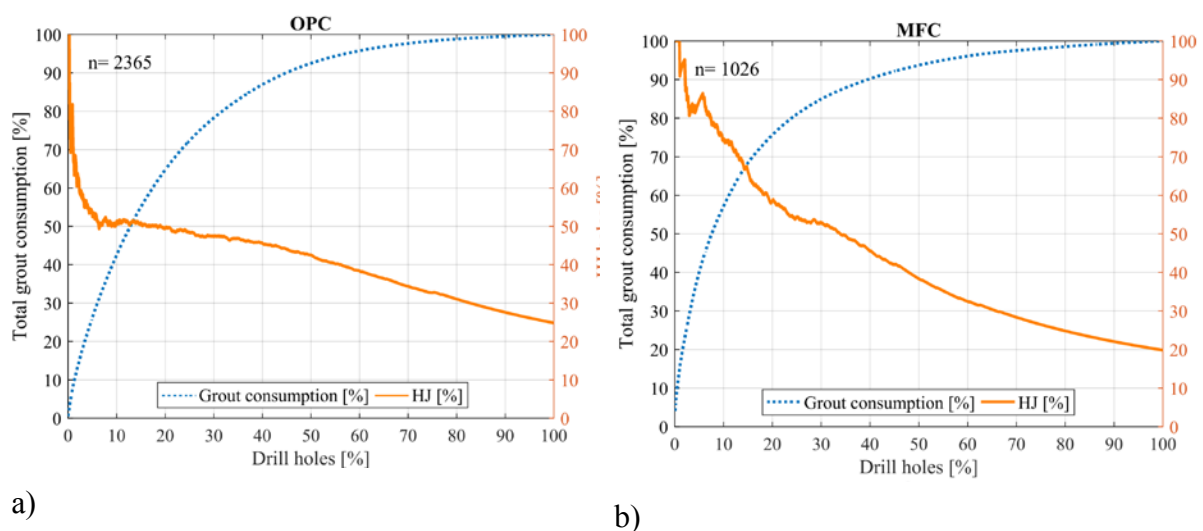
På grunn av at det innledende parameterstudiet indikerte store forskjeller i korrelasjonsmatrisen ved analyse av skjermes utført med mikrosegment og industrisement, ble det utført ytterligere sammenligninger av disse grupperingene av data. Tabell 2 viser en oppsummering av medianverdiene for denne sammenligningen. En mer detaljert oversikt over resultatene er publisert i *Strømsvik (2019b)*.

Tabell 2, medianverdier for sammenligning av injeksjon utført med industrisement (OPC) og mikrosegment (MFC) (modifisert fra Strømsvik (2019a)).

		Median OPC	Median MFC
1	Forbruk av injeksjonsmasse per skjerm	26 000 liter	13 000 liter
2	Andel hull med ingen inngang av sement	21%	35%
3	Andel hull med indikasjon på hydraulisk jekking	24%	19%
4	Forbruk av injeksjonsmasse per meter hull, uten jekking	29 l/m	17 l/m
5	Forbruk av injeksjonsmasse per meter hull, med jekking	52 l/m	41 l/m
6	Forbruk av tid per meter hull, uten jekking	3.4 min	2.1 min
7	Forbruk av tid per meter hull, med jekking	6.4 min	4.7 min
8	Prosentandel høyere forbruk av injeksjonsmasse i hull med jekking	68%	115%
9	Prosentandel høyere forbruk av tid i hull med jekking	79%	90%

I hovedtrekk viser medianverdiene i Tabell 2 at forbruket av injeksjonsmasse ved bruk av mikrosegment er halvparten sammenlignet med forbruket i skjermes med industrisement. Samtidig er det indikasjoner på at det er flere hull som tar mindre injeksjonsmasse enn hullvolumet ved bruk av mikrosegment. Årsaken til begge disse funnene vil bli diskutert senere

i denne artikkelen. Videre viser også tabellen at det er en noe høyere andel hull der det er indikasjon på hydraulisk jekking ved bruk av industrisement og at tidsforbruket ved injeksjon av industrisement her høyere både for hull der det er indikasjoner på hydraulisk jekking og ikke. Det er verdt å merke seg at den relative økningen i forbruk av masse og tid i hull som har indikasjon på hydraulisk jekking og i hull injisert med mikrosegment er betydelig større enn for industrisement. Dette gjenspeiles også i grafene vist i Figur 5 a) og b). Der kan det leses at i de 10 prosentene av injeksjonshull med høyest forbruk av injeksjonsmasse er det indikasjon på hydraulisk jekking i ca. 50% av hullene for industrisement, mens for mikrosegment er det indikasjon på hydraulisk jekking i ca. 75% av hullene. Kurven for forbruk av injeksjonsmasse er betydelig brattere for mikrosegment, noe som tyder på at det er færre hull som står for størstedelen av forbruket når det injiseres med injeksjonsmasse med mikrosegment.



Figur 5, akkumulert forbruk av sement for 2365 hull med industrisement (a) og 1026 hull med mikrosegment (b), der hullene er sortert med hull med høyest forbruk fra venstre. Andel av hull med indikasjon på hydraulisk jekking er også anvist (Strømsvik, 2019b).

Sementtyper for injeksjon

Etter å ha studert resultatene fra analysen av injeksjonsforløp og forbruk, er det helt klart en faktor som peker seg ut, og det er typen sement brukt i injeksjonsmassen. Sementbasert injeksjonsmasse defineres etter partiklenes finhetsgrad, oftest omtalt som industrisement og mikrosegment. Ifølge Statens Vegvesen defineres industrisement som en sement med D_{95} mellom 25 μm og 40 μm , mens mikrosegment defineres som en sement med $D_{95} < 25 \mu\text{m}$.

På grunn av partikkelstørrelsen av kornene i sementen har industrisement og mikrosegment ulike flyteegenskaper og oppfører seg forskjellig under injeksjon av bergsprekker. Flere ulike forskningsprosjekter både i Norge og Sverige, har dokumentert at inntrengningsevnen til sement i sprekker ikke er proporsjonal med partikkelstørrelsen i sementen, samt at det er ulike reologiske egenskaper som gjør at mikrosegment har større motstand mot flyt (Stille, 2015, Håkansson et al., 1992). Årsaken til dette er sammensatt, men kan hovedsakelig oppsummeres med følgende punkter:

1. Sementpartiklene i mikrosegment har høyere spesifikk overflate, noe som betyr større overflate i forhold til vekt. Dette gir større aktivitet på overflaten av partiklene, noe som påvirker flytegenskapene i form av høyere flytspenning og viskositet. Dette betyr at det er større motstand mot flyt under pumping av injeksjonsmassen (*Håkansson et al., 1992*). Det positive med denne effekten er at man kan oppnå raskere oppbygning av trykk, siden sementen ikke "stikker av" like raskt som industrisement.
2. Herdeprosessen i mikrosegment begynner raskere (*Skjølsvold og Justnes, 2016*). Denne prosessen bidrar også til høyere flytspenning og viskositet, med de samme fordelene som nevnt over.
3. Inntrengning i små sprekker er ikke nødvendigvis bedre med finkornet sement (*Stille, 2015*). Det er derfor ikke slik at man forbruker mer av injeksjonsmassen på unødvendig små sprekker. I tilfeller der man ikke får tett små nok sprekker med industrisement, er det derfor ikke slik at mikrosegment er en løsning på dette problemet og at man i slike tilfeller bør benytte noe annet en sementbasert injeksjonsmasse, som for eksempel polyuretan, eller kolloidal silika.

Flere av resultatene fra analysene fra utført injeksjon i PhD-studiet kan forklares fra alle de tre ovenstående punktene, med følgende resonnement:

1. Mikrosegment har større motstand mot flyt på grunn av høyere intern friksjon. Som også simulert i WP 4 i TIGHT så er det de viskøse egenskapene til sementen som er friksjonsparameterne som dominerer trykkoppbygningen. I praksis betyr dette at nå stoppkriteriet er basert på et oppnådd sluttrykk, vil man raskere nå sluttrykket ved bruk av mikrosegment, derav mindre forbruk sement og tid.
2. Det ble funnet at en høyere andel av hullene ikke var injiserbare ved bruk av mikrosegment, som kan forklares ved større overflateaktivitet på små partikler som kan skape et sterkere bånd mellom partiklene, noe som igjen gjør at det relative forholdet til inntrengning i sprekker i forhold til sprekkåpning er ulik for grov og finkornet injeksjonsmasse.

Er hydraulisk jekking en ønsket hendelse under berginjeksjon under normale forhold?

Injeksjon ved bruk av høyt injeksjonstrykk sammen med sementbasert masse, er i utgangspunktet gunstig, da raskere inntrengning oppnås. Forskning har også vist at dette gir mindre filterkakedannelser og bedre inntrengning i fine sprekker (*Draganović og Stille, 2011*). Brukes imidlertid så høyt trykk at det oppstår hydraulisk jekking, er det en helt annen situasjon hvor bruk av høyt trykk ikke lengere nødvendigvis er like gunstig.

I bergmasse hvor det er både fine og åpne sprekker kan også injeksjon med høyt trykk over tid gi unødvendig forbruk av masse og tid, på grunn av stor konduktivitetskontrast mellom sprekkeene. I slike tilfeller kan det være mer effektivt å avslutte injeksjonen angitt på mengde. Om det er strenge krav til tetthet vil man ofte måtte bore en ny skjerm uansett og da er det lite hensiktsmessig å pumpe lenge på åpne sprekker, som frakter sementen bort fra området som skal tettes.

Hovedformålet ved forinjeksjon av bergmasse er at sprekker relativt nære tunnelprofilen skal fylles med injeksjonsmasse. Hydraulisk jekking av sprekker er ikke forenelig med dette konseptet og det er flere grunner til at hydraulisk jekking er en uønsket hendelse under injeksjon:

1. Det er de relativt store sprekkeene som blir utsatt for hydraulisk jekking og det er bare én sprekk som jekkes av gangen. Grunnen til dette er at trykktapet i store sprekker er mindre enn i små sprekker, slik at injeksjonstrykket forplanter seg raskere i de store sprekkeene. *Sprekker som jekkes er derfor de sprekkeene sementen allerede har god inntrengning i.* Trykktapet som måles på injeksjonsriggen etter at jekking har oppstått er reelt for hele sprekkesystemet tilknyttet injeksjonshullet. Dette betyr at alle sprekker som ikke jekkes, injiseres under et lavere trykk. I praksis betyr dette dårligere injeksjon av de sprekkeene som ikke har blitt jekket. På den måten kan man nesten si at hydraulisk jekking av en sprekk er som å poppe en ballong der luften (injeksjonsmassen) slippes ut av systemet. Det har dermed oppstått en situasjon med en ukontrollert spredning av massen, noe som ikke ivaretar prinsippet med forinjeksjon, nemlig at det skal oppnås en spredning av injeksjonsmasse i flest mulig sprekker umiddelbart rundt tunnelprofilen.
2. I et stivt system vil volumøkningen av en sprekk under injeksjon rent teoretisk føre til kompresjon av andre nærliggende sprekker under selve injeksjonen. Dette vil dermed føre til dårligere injeksjon av sprekkeene som ikke er utsatt for jekking da massen vanskeligere trenger inn i disse sprekkeene som da har fått redusert sprekkåpning.
3. Økt sprekkvolum. Deler av volumøkningen er permanent, siden injeksjonsmassen er partikkelbasert, noe som kan føre til økt transmissivitet av vann utenfor injisert område.
4. Om trykket angitt i stoppkriteriet er høyere enn trykket hvor hydraulisk jekking forekommer, er det i mange tilfeller vanskelig og tidkrevende å nå stoppkriteriet og konsekvensen blir unødvendig høyt forbruk av sement på grunn av hyppig gjentatte hendelser av hydraulisk jekking.
5. I tilfeller der det er mye sprekkefylling, spesielt av leirig karakter, som gjør det vanskelig å spre injeksjonsmassen, kan hydraulisk jekking faktisk ha en positiv effekt.

Resultatene fra analysen av forbruk av injeksjonsmasse viser at i hull hvor det er indikasjoner på hydraulisk jekking, er et betydelig større forbruk på både mengde injeksjonsmasse og tid. Man kan nok ikke relatere alt av dette forbruket til hydraulisk jekking. Som nevnt i punkt 1 over, er det de relativt åpne sprekkeene med god inntrengning av injeksjonsmasse som er mest disponert for hydraulisk jekking, og det var derfor vanskelig å utføre beregninger på økt forbruk grunnet hydraulisk jekking. Det er derfor behov for mere forskning innenfor dette området.

Kan man forutsi hydraulisk jekking?

En grunnleggende tanke hos mange er at man bør kunne definere sluttrykk og stoppkriterier i forkant av injeksjon og at hydraulisk jekking kan forutsies basert på faktorer som er kjent i forkant av tunneldrivingen, som for eksempel overdekning og bergspenninger. GIN -metoden presenterer også injisert volum som viktig faktor for å evaluere risikoen for hydraulisk

jekking (*Lombardi, 1997*). Datagrunnlaget i Tabell 1, ble også benyttet til å se på dette, men det ble raskt konkludert med at lokale forhold som sprekkeorientering i forhold til lokale bergspenninger er ukjente faktorer som har stor betydning for når det oppstår jekking. Trykket som måles på injeksjonsrigger representerer den totale motstanden fra den indre friksjonen i sementen og finheten på sprekeåpningen som injeksjonshullet gjennomskjærer, og representerer ikke det stedlige trykket der jekkingen oppstår. Dette er også en feilkilde til slike beregninger. Studiet fra kjerneboring på Åsland, *Strømsvik og Gammelsæter (2020)*, viste også at lokale spenninger i bergmassen kan endre seg mye på relativ korte avstander, dette gjelder spesielt i nærheten av svakhetssoner. Det ble derfor konkludert med at om det injiseres ved bruk av injeksjonstrykk i grenseland mot det nivået der hydraulisk jekking kan oppstå, bør det påses å ha god kontroll på injeksjonsutførelsen for å unngå overforbruk på både tid og mengder.

Når man omtaler denne tematikken, må man også huske å skille mellom risiko med hensyn på overdekning og konsekvenser ved hydraulisk jekking. Uavhengig av jekking eller ikke, har man mindre kontroll over spredning i større sprekker ved bruk av høyt injeksjonstrykk. Derav høyere risiko for ukontrollert utgang av injeksjonsmasse i dagen ved liten bergoverdekning.

OPPSUMMERING

Dataloggen fra injeksjonsrigger er et viktig verktøy for å forstå injeksjonsprosessen. For å kunne utføre pålitelige analyser basert på logget data er det viktig med en hyppig loggefrekvens. Under studiet var den hyppigste loggefrekvensen under injeksjon hvert 10. sekund, som ikke er tilstrekkelig for å få full utnyttelse av data både under selve injeksjonen og i etterkant.

De ble funnet at hydraulisk jekking av sprekker under berginjeksjon i norske prosjekter er en vanlig hendelse. I studiet ble det indikert jekking i 23% prosent av totalt 3391 injeksjonshull, hentet fra 6 ulike tunneler. Både forbruket av tid og injeksjonsmasse ble funnet til å være betydelig høyere i injeksjonshull der hydraulisk jekking var indikert. Årsaken til dette er sammensatt og kan ikke festes direkte bare til selve hendelse av hydraulisk jekking. Derimot kan det dokumenteres at jekkingen er en medvirkende årsak til økt forbruk av både sement og tid.

Det ble funnet flere betydelige forskjeller i injeksjonsforløpet ved bruk av mikrosement versus industrisement. Generelt var forbruket av industrisement dobbelt så stort. I tillegg ble det funnet at en høyere andel av hullene ikke var injiserbare ved bruk av mikrosement. Hydraulisk jekking oppstod hyppigere ved bruk av industrisement.

Det ble konkludert med at forinjeksjonen i de prosjektene som ble studert var vellykket med hensyn på å nå kravene for innlekkasje, med miljømessige hensyn ble det funnet potensiale for forbedring, spesielt med tanke på unødvendig forbruk av sement i forbindelse med hydraulisk jekking av sprekker under injeksjon.

Det handler om å finne en balanse mellom trykk og hydraulisk jekking. For å finne denne balansen må man tilpasse injeksjonen underveis. Er man for konservativ med bruken av injeksjonstrykk, for å sikre at ingen hendelser av hydraulisk jekking oppstår, kan man gå glipp av fordelene ved bruk av høyt trykk. Bruker man så høyt trykk at man mister kontrollen over injeksjonsmassen, fører dette til unødvendig forbruk av tid og mengder injeksjonsmasse.

Resultatene belyser hvor sammensatt berginjeksjon er, med mange samvirkende faktorer kombinert med mange ukjente parametere og at det ofte ikke finnes raske fasitsvar.

Berginjeksjon må skreddersys etter de stedlige forholdene, både når det kommer til valg av injeksjonsmasse, injeksjonstrykk og design. Både prosjekresultatene fra TIGHT og resultatene i PhD arbeidet, bekrefter at valg av injeksjonsmasse, sannsynligvis er den viktigste faktoren når det kommer til stuttresultatet, men at det også er betydelige innsparinger å hente når det kommer til optimalisering og tilpasning av prosedyrer til stedlige forhold.

Ny forskning og teknologisk utvikling er viktig for å nå framtidige mål om vellykket injeksjon med hensyn på krav til innlekkasje, som også ivaretar faktorer som økonomi, byggetid og miljø.

Framtidens injeksjonsprosedyre

Både injeksjonsrigger og programvare for injeksjon har gjennomgått en rivende utvikling de siste 5 årene, og det vil skje enda mer i de kommende årene. I praksis betyr dette at det er mulig å gjøre mange flere vurderinger underveis i injeksjonsarbeidet, som kan bidra til beslutningsgrunnlaget for å utføre individuelle tilpasninger av injeksjonen til stedlige forhold.

Totalentrepriser med internasjonale aktører har også stor innvirkning på utførelse av berginjeksjon i norske tunnel og undergrunnprosjekter. Slike kontrakter gir større handlingsfrihet, som på mange områder utfordrer norske tradisjoner på utførelse. Her er det viktig at store norske byggherrer, som Bane NOR, Nye Veier, SVV og fylkeskommuner har gode kontrakter som ivaretar erfaringer og teknikker basert på norske bergrunnsforhold. Her siktes det ikke bare til berginjeksjon, men også bergsikring og utføring av tunneler.

I begynnelsen av 2020 startet prosjektet Logic Grouting, et treårig kommersialiseringsprosjekt støttet av Norges Forskningsråd (KOMMERSFORSK19). Logic Grouting er ledet av SINTEF med Bever Control som partner, og AMV og Bane NOR er samarbeidspartnere. Veidekke og Skanska bidrar med data til prosjektet. Prosjektet har som formål å introdusere nye metoder og programvare for å tolke injeksjonsforløpet under utførelse, deriblant automatisk detektering av hydraulisk jekking under injeksjon. Formålet er å redusere unødvendig forbruk av sement og tid, samt tilrettelegge for at injeksjonsprosedyrer kan tilpasses kontinuerlig basert på stedlige forhold. Det vil også tilrettelegges for at entreprenør og byggherre lettere kan følge injeksjonen under og etter utført arbeid.

OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Resultatene fra prosjektet indikerer at bruken av høyt trykk bør differensieres og at det i mange tilfeller er fordelaktig å redusere kravet til oppnådd sluttrykk. Både prosjekresultatene fra TIGHT og resultatene i PhD arbeidet, bekrefter at valg av injeksjonsmasse sannsynligvis er den viktigste faktoren når det kommer til stuttresultatet, men at det også er betydelig innsparing å hente når det kommer til optimalisering og tilpasning av prosedyrer til stedlige forhold.

En tunnel som er tett nok til at de stedlige innlekkasjekravene er oppfylt er det viktigste målet, da dette ivaretar miljø, overliggende konstruksjoner og infrastruktur. Men; en vellykket injeksjon bør ikke bare bedømmes i forhold til oppnådd reduksjon i innlekkasje, faktorer som økonomi og miljø bør også inkluderes.

Ny forskning og teknologisk utvikling er viktig for å nå framtidige mål om vellykket injeksjon med hensyn på krav til innlekkasje, som også ivaretar økonomi, byggetid og miljø.

KILDER

- ASTM International. (2004). "D 4645 – 04 Standard Test Method for Determination of the In-Situ Stress in Rock Using the Hydraulic Fracturing Method". In: ASTM International.
- Bazin, S. (2018). "TIGHT WP8-Grout monitoring; Imaging of grout distribution with crosshole *GPR*". NGL. Oslo
- Bazin, S., Kvistedal, Y., Anschütz, H., Tunbridge, L., Jankowski, P., Fannian, K., . . . Grøv, E. (2018). "Case study of crosshole GPR tomography for grouting distribution in rock fractures". Paper presented at the EAGE-HAGI 1st Asia Pacific meeting on Near Surface Geoscience & Engineering, Yogyakarta, Indonesia.
- Bjørnarå, T. I., Bohloli, B., & Tunbridge, L. (2016). "Grout flow and pressure response in rock mass, with hydromechanical modelling". Paper presented at the 8th Nordic Grouting Symposium Oslo, Norway.
- Bjørnarå, T. I., Tunbridge, L., & Bohloli, B. (2017). "Hydromechanical modelling of rock mass grouting". Paper presented at the 51st U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, San Francisco, California, USA.
- Bohloli, B., Morgan, E. K., Grøv, E., Skjølsvold, O., & Hognestad, H. O. (2018). "Strength and filtration stability of cement grouts at room and true tunnelling temperatures". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 71, 193-200.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.08.017>
- Bohloli, B., Omolo, L. O., Soldal, M., Wilkinson, H. D., & Morgan, E. K. (2016). "Mechanical and flow properties of cement grouts". Paper presented at the 8th Nordic Grouting Symposium, Oslo, Norway.
- Dalmalm, T. (2001). "Grouting Prediction for Hard Rock". (Licentiate Thesis). Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
- Draganović, A. (2009). "Bleeding and filtration of cement-based grout". (PhD). Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Draganović, A., & Stille, H. (2011). "Filtration and penetrability of cement-based grout: Study performed with a short slot". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(4), 548-559. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2011.02.007>
- Grøv, E., Strømsvik, H., & Haugsand, M. H. (2020). "Sementbasert berginjeksjon. Sluttrapport fra prosjektet TIGHT". SINTEF
- Håkansson, U., Hässler, L., & Stille, H. (1992). "Rheological properties of microfine cement grouts". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 7(4), 453-458.
doi:[https://doi.org/10.1016/0886-7798\(92\)90076-T](https://doi.org/10.1016/0886-7798(92)90076-T)
- Hjertström, S., & Pettersson, S. Å. (2006). "Fortsatte undersökningar om dispergering av mikrocement". Paper presented at the Bergmekanikdagen 2006, Stockholm.
- Justnes, H., & Skjølsvold, O. (2017). "Characterization of cements for injection". Paper presented at the XXIII Nordic Concrete Research Symposium, Aalborg.
- Klüver, B. H., & Kveen, A. (2004). "Miljø- og samfunnstjenelige tunneler; Publikasjon 104-Berginjeksjon i praksis" (0803-6950). Vegdirektoratet: Teknologivdelingen. Oslo:
- Lombardi, G. (1997). "GIN Principle revisited". *International Water Power & Dam Construction*, Oktober, p. 33-36.

- Lombardi, G., & Deere, D. (1993). "Grouting design and control using the GIN principle". International Water Power & Dam Construction.
- Skjetne, P., & Mo, S. (2016). "Numerical simulations of grout flow in simplified geometries". Paper presented at the 8th Nordic Grouting Symposium, Oslo, Norway.
- Skjølsvold, O., & Justnes, H. (2016). "Characterization of cement types used for rock injection". Paper presented at the 8th Nordic Grouting Symposium, Oslo, Norway.
- Stille, H. (2015). "Rock Grouting -Theories and applications". Stockholm: BeFo.
- Strømsvik, H. (2019a). "Assessment of High Pressure Pre-Excavation Rock Mass Grouting in Norwegian Tunnelling". (PhD). Norwegian University of Science and Technology,
- Strømsvik, H. (2019b). "The significance of hydraulic jacking for grout consumption during high pressure pre-grouting in Norwegian tunnelling". Tunnelling and Underground Space Technology, 90, 357-368. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.05.014>
- Strømsvik, H., & Gammelsæter, B. (2020). "Investigation and assessment of pre-grouted rock mass". Bulletin of Engineering Geology and the Environment. doi:10.1007/s10064-019-01722-9
- Strømsvik, H., Morud, J. C., & Grøv, E. (2018). "Development of an algorithm to detect hydraulic jacking in high pressure rock mass grouting and introduction of the PF index". Tunnelling and Underground Space Technology, 81, 16-25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.027>
- Tunbridge, L., Aarset, A., & Tønnessen, E. (2016). "Measurement of grout injection pressure in situ". Paper presented at the ITA-AITES World Tunnel Congress 2016, San Francisco, California, USA.
- Tunbridge, L., Aarset, A., Tønnessen, E., Strømsvik, H., & Moe, S. (2016). "Measurement of grout injection pressure in-situ and interpretation of in-situ stresses". Paper presented at the Nordic Grouting Symposium, Oslo, Norway.
- Tunbridge, L., & Nilsen, E. (2018). "WP 7 Full scale testing -Summary report". NGI. Oslo
- Tunbridge, L., Strømsvik, H., & Aarset, A. (2017). "Results of in situ pressure measurements during pre-excavation grouting in rock tunnels". Paper presented at the ITA-AITES World Tunnel Congress 2016, Bergen, Oslo.
- Vistnes, G., & Nilsen, B. (2018). "TIGHT WP6 Scaled laboratory model, Report 2: Model design and initial testing". NTNU. Trondheim
- Vistnes, G., Strømsvik, H., & Nilsen, B. (2017). "TIGHT WP6 Scaled laboratory model Report 1: State of the art and planned laboratory testing apparatus". NTNU. Trondheim
- Warner, J. (2004). "Practical handbook of grouting: soil, rock, and structures". John Wiley & Sons.

7 NORDØYVEGEN, PROSJEKTPRESENTASJON.

Nordøyvegen, project presentation

Marianne Nærø, prosjektleder Møre og Romsdal fylkeskommune

SAMMENDRAG

Fv. 659 Nordøyvegen er det største fylkeskommunale vegprosjektet i Norge i dag og gir fastlandssamband til øyene Lepsøya, Haramsøya, Flemsøya, Fjærtøfta og Harøya i Ålesund kommune.

Prosjektet består av:

- Lepsøybrua, 800 meter stål- og betongbru
- Laukebrua, 110 meter betongbru
- Hamnaskjersundbrua, 200 meter betongbru.
- Haramsfjordtunnelen, 3,5 km -113 moh,
- Nogvafjordtunnelen, 5,72 km, -135 moh,
- Fjærtøftfjordtunnelen, 3,7 km, -118 moh.
- Til sammen 5 km veg og 2735 meter sjøfylling.

Det er totalt seks kontrakter; fire forberedende entrepriser tildelt Entreprenør AF ABOL, K.A. Aurstad AS, Lesja Bulldozerlag AS og Odd Småge AS, en hovedentreprise tildelt Skanska Norge AS og en elektrokontakt tildelt Kraftmontasje AS.

Et så omfattende og vidstrakt prosjekt som omfatter de fleste disipliner innen bygg og anlegg gir utfordringer for både byggherre og entreprenører. Logistikken er krevende fordi man er avhengig av sjøtransport for tilkomst til eller utføring av de fleste aktiviteter. Det foregår mange parallelle arbeidsoperasjoner samtidig over et stort geografisk område. Det er også et kystområde med til tider krevende værforhold.

Det har vært utfordringer med soner med dårlig fjell og grunnvann med høyt trykk. Haramsfjordtunnelens sørlige påhugg ligger på kote -8 på grunn av stigningskrav. Det blir derfor bygd en asfaltkjernedam ute på Lepsøyrevet for å holde havet ute fra tunnelen.

I oktober 2020 var 433 mennesker involvert i byggingen av Nordøyvegen hos Møre og Romsdal fylkeskommune, Skanska og underentreprenørene. I tillegg kommer en rekke leverandører av varer og tjenester.

De tre bruene, sjøfyllingene og Haramsfjordtunnelen blir ferdige tidligere enn planlagt. Nordøyvegen blir derfor delåpnet i desember 2021. Hele vegen med de to siste undersjøiske tunnelene skal etter planen åpne sommeren 2022.

SUMMARY

The project fv659 Nordøyvegen is the largest ongoing county road project in Norway. It includes a connection of bridges and three subsea tunnels connecting Lepsøya, Haramsøya, Flemsøya, Fjærtøfta og Harøya to the mainland in Ålesund municipality.

The project includes:

- Lepsøybrua, 800 metre steel- and concrete bridge
- Laukebrua, 110 metre concrete bridge
- Hamnaskjersundbrua, 200 metre concrete bridge
- Haramsfjordtunnel, 3,5 km, 113m below sea level.
- Nogvafjordtunnel, 5,72 km, 135m below sea level
- Fjærtøftfjordtunnel, 3,7 km, 118m below sea level
- 5 km road over land and 2,7km rock dumped causeway connecting bridges and mainland.

A total of six contracts have been signed: Four for the preparatory work; with the contractors AF ABOL, K.A. Aurstad AS, Lesja Bulldozerlag AS and Odd Småge AS. One main construction contract for majority of the work has been signed with Skanska Norge AS and one contract for the engineering and installation of all electrical equipment signed with Kraftmontasje AS.

There are challenges related to such a comprehensive and widely spread out contract both for client and contractors since the scope consists of many civil engineering and construction disciplines to be executed in parallel. The logistics is demanding when dependent of transportation at sea for accessing the site or execution of the work. The project is also located in a coastline with harsh weather conditions.

Project has completed approx. 80% of the tunneling, however there have been challenges with the rock quality in some zones and a considerable amount of water ingress with high pressure.

One of the major challenges in the project has been the establishment of a temporary cofferdam and requirement to install a permanent asphalt core dam at the south entrance of the Haramsfjord tunnel. This will prevent sea water from entering into the tunnel entrance which is at 8metres below sea level. This requirement was due to the strict regulations regarding subsea tunnels and the maximum slope allowed.

In October 2020 a total of 433 people was directly involved in the project work from Møre og Romsdal fylkeskommune (Client), Skanska Norge AS and their subcontractors. In addition, a large number of suppliers and services have also been involved.

Due to the possibility of an earlier completion of work of all three bridges and the Haramsfjord tunnel, a partial opening of this road system in December 2021 is planned, while the total scope will be completed and remaining roads and tunnels opened in summer 2022.

INNLEDNING

Fv. 659 Nordøyvegen omfatter bygging av tre bru- og tre undersjøiske tunneler som gir fastlandssamband for de 2700 innbyggerne på øyene Lepsøya, Haramsøya, Flemssøya, Fjørtofta og Harøya til fastlandet i Ålesund kommune. Disse øyene blir omtalt som Nordøyane. Veggen avløser to ferjesamband, ett hurtigbåtsamband og en ambulansebåt.

Nordøyvegen har en lang historie. Prosjektet er drevet fram av et ønske om fastlandssamband til øyer som i lengre tid har vært prega av gradvis fraflytting, samtidig som næringsutviklinga har vært offensiv. På Nordøyane er det blant annet store bedrifter som leverer utstyr til den maritime industrien. Ferjer er ei ulempe fordi det ofte er lang tid mellom avgangene og sambanda er nattestengte. Fastlandssamband gir et mer fleksibelt transportsystem og sparte transportkostnader for både næringsliv og privatpersoner.

HOVEDDATA

Nordøyvegprosjektet er det største fylkesvegprosjektet i Norge noen sinne. Prosjektet startet som en del av Statens vegvesen, men prosjektet og prosjektorgansisasjonen som helhet ble overført til Møre og Romsdal fylkeskommune som en del av regionreformen 1. januar 2020.

Prosjektet består av:

- Lepsøybrua, 800 meter stål- og betongbru
- Laukebrua, 110 meter betongbru
- Hamnaskjersundbrua, 200 meter betongbru.
- Haramsfjordtunnelen, 3,5 km -113 moh,
- Nogvafjordtunnelen, 5,72 km, -135 moh,
- Fjørtoftfjordtunnelen, 3,7 km, -118 moh.
- Til sammen 5 km veg og 2735 meter sjøfylling.

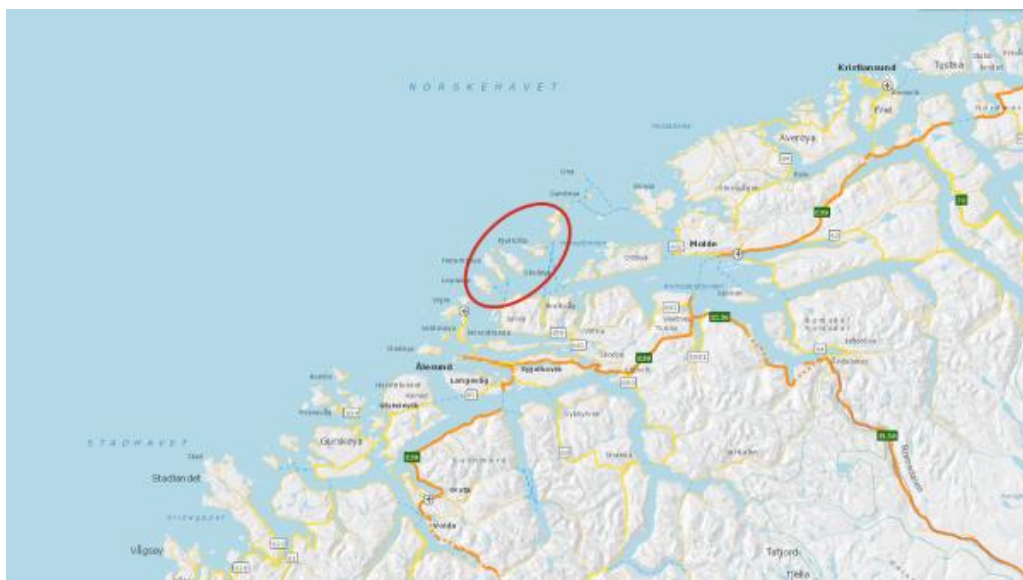


Fig. 1. Nordøyane i Ålesund kommune.

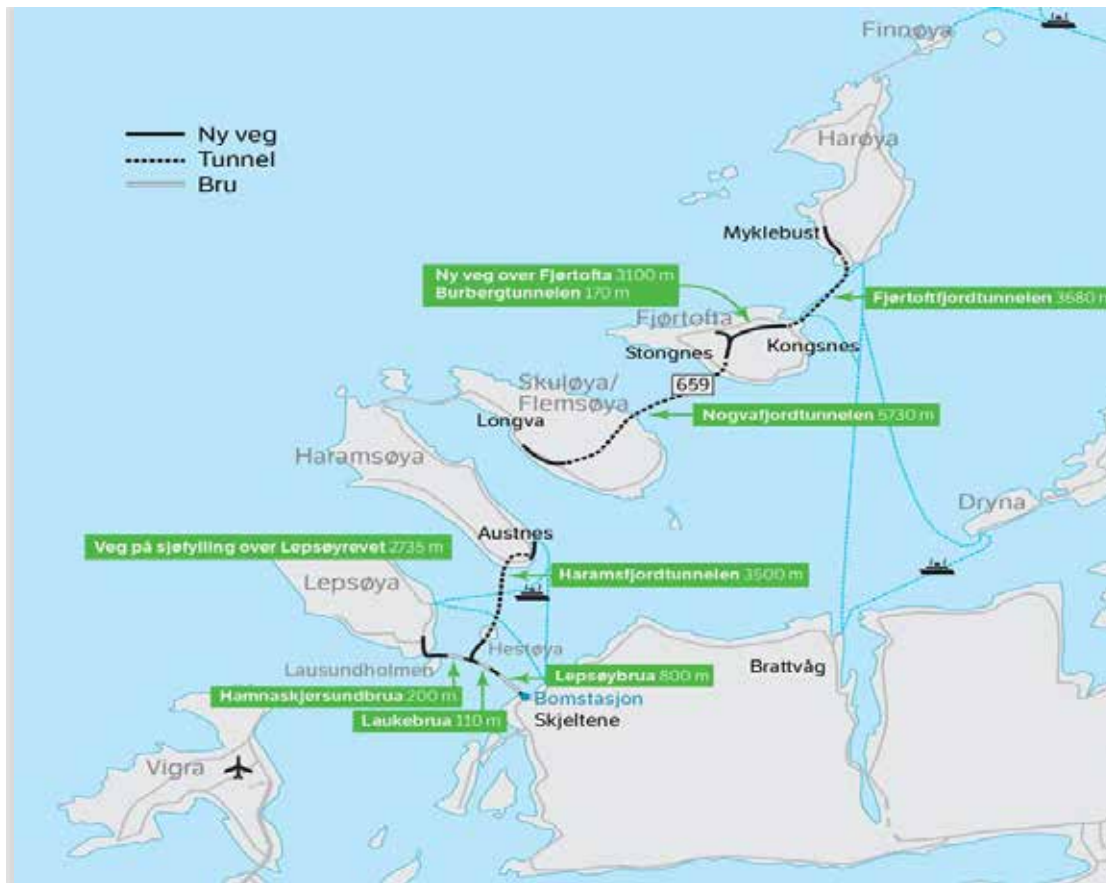


Fig. 2. Oversikt over prosjektet

KONTRAKTER OG KONTRAKTSTRATEGI

Det ble utlyst fire forberedende entrepriser umiddelbart etter at bompengeproposisjonen ble godkjent i Stortinget 20. juni 2017. Kontraktene omfattet totalt fem av de seks forskjæringene til tunnelene og sjøfylling og riggareal på fastlandet. Arbeidet ble gjennomført i perioden oktober 2017 til våren 2018.

K1 – Veg og riggområde Skjeltene

Entreprenør: AF ABOL (arbeidsfellesskap med Aco anlegg AS, Busengdal AS, Opshaug AS og Longva maskin AS).

K2 – Forskjæring Austnes og Longva (Haramsøya/Flemsøya)

Entreprenør: K.A. Aurstad AS

K3 – Forskjæring Fjærtøfta

Entreprenør: Lesja Bulldozerlag AS

K4 - Forskjæring Myklebust (Harøya)

Entreprenør: Odd Småge AS

Deretter ble det utlyst hovedanleggsentreprise for hele utbyggingen og med planlagt byggetid perioden 2018-2022. Hovedkontrakten ble lyst ut som en utførelsesentreprise og enhetspriskontrakt og iht til NS 8405.

Anskaffelsesprosedyren var «to-konvolutt» system med elektronisk innlevering og hvor tildelingskriteriet var beste forhold mellom pris og kvalitet. Skanska Norge AS ble tildelt denne kontrakten 11. desember 2018

En egen totalentreprise for elektroarbeidene ble utlyst i 2019 og med planlagt byggetid 2021-2023. Denne kontrakten ble tildelt Kraftmontasje AS og deretter tiltransportert kontrakten til Skanska. Det valgte konseptet med Skanska og tiltransporteringen av elektrokontakten gjorde at man kunne framskynde åpningen til sommeren 2022.

HOVEDDATA

Bro og sjøarbeider

For å sikre en kostnadsoptimal prosjektgjennomføring ble det prosjektert to løsninger for Lepsøybrua, ett stål- og ett betongalternativ, hvor entreprenøren sto fritt til å velge. Skanska hadde valgt bruløsning med stålkasse som gav den korteste byggetiden. Stålseksjonene ble produsert i Polen, transportert med lekter og videre heist på plass ila en to ukers periode i september 2020.

Hovedelementer:

- Lepsøybrua (800 meter)
Fundamentert på løsmasser med senkekasser og betongsøyler. Brua går over hovedleia for skipstrafikken og har en seilingshøyde på 41. Midtspennet på 155 meter er Norges lengste bruspenn i stål.
- Laukebrua (110 meter), betongbru.
- Hamnaskjersundbrua (200 meter), betongbru.
- 2735 meter veg på sjøfylling bygd med tunnelstein.



Fig. 3. Første stålelement på Lepsøybrua løftes på plass av kranlekter «Uglen»



Fig. 4. Siste og syvende seksjon straks på plass.

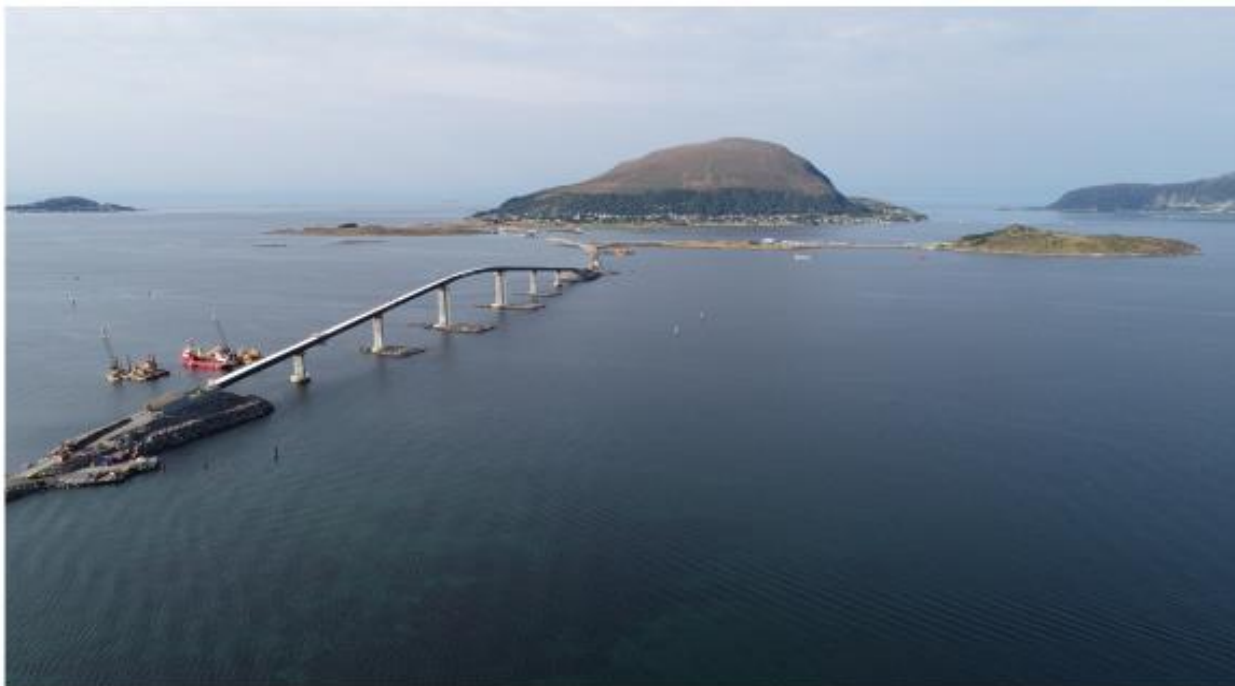


Fig. 5. Alle 7 stålelementene på plass. totalt 800 m.

Tunnelarbeid

Nordøyvegen inneholder tre undersjøiske tunneler og en miljøtunnel. Tunnelene blir nå drevet fra fem stuffer: Hestøya, Longva, Fjørtofta sør og nord og Harøya. Haramsfjordtunnelen fra Austnes er ferdig drevet og innredningsarbeidet er i gang. Miljøtunnelen på Fjørtofta er også ferdig drevet. Nordøyvegen er det første vegprosjektet i Norge der tre undersjøiske tunneler blir drevet samtidig. Alle stoffene er avhengige av ferjetransport eller egen båttransport.

- Haramsfjordtunnelen
3500 meter, -113 moh
- Nøgvafjordtunnelen
5720 meter, -135 moh
- Fjørtoftfjordtunnelen
3680 meter, -118 moh
- Burberget, miljøtunnel på Fjørtofta
170 meter

Alle tunnelene blir bygd med tunnelprofil T8,5 med to felt uten krabbelfelt, i tunnelklasse B.

Spesielle utfordringer med tunneldrivingen:

Tunnelene på Nordøyvegen ble først prosjektert med opp mot 10 prosent stigning. Som en konsekvens av de nye tunnelsikkerhetsforskriftenes krav til maksimalt 5 prosent stigning, måtte de undersjøiske tunnelene prosjekteres på nytt. På Haramsfjordtunnelen er tunnelpåhugget på Hestøya på kote -8 for å redusere stigningen. Det ble da gitt dispensasjon for en stigning på 7,8 prosent. Som kompensierende sikkerhetstiltak for er det stilt krav om full sikkerhetsutrustning selv om det ligger til grunn en årsdøgntrafikk på 1000.

Tunnelpåhugget på kote -8 er løst med en midlertidig «kofferdam» som holder sjøvann ute mens tunneldrivingen pågår. Samtidig har man startet arbeidet med de permanente «demningene» hver side av veglinjen inn mot tunnelen. Disse demningene er prosjektert på samme måte som asfaltkjernedammer brukt i vannkraftutbygginger.



Fig. 6. Hestøya med Lauka i forgrunnen.



Fig. 7. Etablering av de midlertidige «spuntede kofferdammene».



Fig. 8. Start på tunneldrivingen på Hestøya og rensk av havbunnen for etablering av fundament for de permanente demningene. (Foto:Skanska)

Tunnelstein og utfordringer med fylling i sjø.

Halvparten av de ca. 700 000 m³ tunnelmasse er planlagt brukt i sjøfylling. De øvrige massene vil bli brukt til vegbygging eller lagt i masselager.

For å redusere utslipp av plast i sjø er det et stilt krav i kontrakten om bruk av stålfiberarmering i sprøytebetongen og tiltak som skal redusere mengden plast tilsvarende bruk av elektriske tennere til sprengningsarbeidene.

Skanska har valgt å bruke elektroniske tennere på steinmasser som skal brukes i sjøfylling. Etter ca. 1200 salver har de svært gode erfaringer:

- Det er nesten ikke gjort funn av rester etter tennmidler på strendene i nærområdet.
- Tidsmessig er det liten forskjell når nye rutiner er innarbeidet.
- Bedre kvalitet på kontur.
- Lite omskyting og mindre fare for forsagere.
- Bedre kontroll på rystelser, enklere å gjøre tiltak



Fig 9. Boring på stoff.

Skjerpa krav til stigning i tunnelene førte til at en betydelig andel av tunnelene har mindre enn 50 meter fjelloverdekning. Det utføres kjerneboring der fjelloverdekningen er 40 meter eller mindre og ved kjente svakhetssoner med seismisk hastighet 3000 m/s eller mindre.

Kjerneboringene er gjennomført på helg slik at det ikke er til heft for produksjonen. Skanska har gjennomført 32 kjerneboringer. I hovedsak er disse gjennomført på helg slik at det ikke har vært til heft for tunnelproduksjonen.

- **Haramsfjordtunnelen 3505m:**
 Lengde bergoverdekning < 50m: 1303 m
 Bergoverdekning 24 – 30m: 309 m
 Bergoverdekning 30 – 40m: 605 m
 Bergoverdekning 40 – 50m: 389 m

- **Nogvaffjordtunnelen 5730m:**
 Lengde bergoverdekning < 50m: 1275 m
 Bergoverdekning 25 – 30m: 365 m
 Bergoverdekning 30 – 40m: 455 m
 Bergoverdekning 40 – 50m: 455 m

- **Fjortoftfjordtunnelen 3670m:**
 Lengde bergoverdekning < 50m: 2025 m
 Bergoverdekning 20 – 25m: 120 m (under land)
 Bergoverdekning 25 – 30m: 240 m
 Bergoverdekning 30 – 40m: 680 m
 Bergoverdekning 40 – 50m: 985 m

Totalt er det utført 2885m lengde med kjerneboring på stoff:

Spesialtilpassa utstyr for kjerneboring på stoff:

Kjerneboringsutstyret er montert i en modifisert bil med arbeidsplattform. Dette gir stor fleksibilitet for plassering av hullet og gode arbeidsforhold for de som borer.



Fig. 10. Kjerneboringsutstyr på spesialtilpasset bil.

LOGISTIKK OG UTFORDRINGER

Et så omfattende og vidstrakt prosjekt som omfatter de fleste disipliner innen bygg og anlegg gir utfordringer for både byggherre og entreprenører. Logistikken er krevende fordi man er avhengig av sjøtransport for tilkomst til eller utføring av de fleste aktiviteter. Det foregår mange parallelle arbeidsoperasjoner samtidig, med gjensidige avhengigheter, over et stort geografisk område. Det er også et kystområde med til tider krevende værforhold.

Lepsøybrua blir bygd over hovedskipsleia, med stor skipstrafikk. Ved visse kritiske operasjoner, som for eksempel ved kranløft av stålseksjonene på Lepsøybrua har hovedskipsleia vært stengt.

Vedlagte oversikt viser logistikken og utfordringene med prosjektet. Det er etablert prosjektkontorer og boligrigger både på fastlandet og på flere av øyene. Det er også etablert betongblandeverk på to av øyene for å sikre kontinuerlig tilgang til betong.

Skanska har etablert midlertidige anleggskaier for transport av tunnelstein til sjøfyllingene og for transport av materiell. Det er også et krav til entreprenør at belastningen på eksisterende veger og fergesamband er minst mulig.



Fig. 11. Oversikt over logistikk og etableringer på prosjektet.

REFERANSER

- Prop. 140 S (2016–2017) Proposisjon til Stortinget (forslag til stortingsvedtak) Finansiering av prosjektet fv 659 Nordøyvegen i Møre og Romsdal. Tilråding frå Samferdselsdepartementet 22. mai 2017.

REHABILITERING TYHOLT-TUNNELEN – ETTERINJEKSJON

Rehabilitation Tyholt-tunnel – post grouting

Endre Kjærnes Øen, Rambøll Norge AS

SAMMENDRAG

I Tyholt-tunnelen, jernbanetunnel mellom Stavne og Leangen i Trondheim, er det problemer med at man mister signal med togene som kjører gjennom tunnelen. Det er antatt at dette problemet skyldes rust på skinner som i sin tur blant annet skyldes et fuktig miljø i tunnelen. For å redusere vannlekkasjer og fukt ble det benyttet etterinjeksjon med polyuretan. Resultater basert på kartlegging etter at arbeidene var ferdig, viser at man i 50 % av injiserte tunnelmeter fikk et resultat som ble klassifisert som «tilfredsstillende» og «ganske bra». Kort oppsummert, basert på erfaringer fra Tyholt-tunnelen, er kjemisk etterinjeksjon en metode som kan benyttes for å redusere, flytte og/eller tette lekkasjer, men er best egnet til konsentrerte området eller enkelte sprekker.

SUMMARY

The Tyholt-tunnel, a railway tunnel between Stavne and Leangen in Trondheim, is struggling with connection to the signal. It is assumed that this is due to rust on the rails, because of the wet conditions in the tunnel. To reduce the water leakage, it was decided to use post grouting with polyurethane. Results from mapping after the grouting shows that 50% of the grouted tunnel meters was classified as “satisfactory” or “pretty good”. In summary, based on the experience from the Tyholt-tunnel, post-grouting with polyurethane is a method that can be used to reduce, move og stop water leakage, but are best suited for concentrated areas or distinct joints.

INNLEDNING, BAKGRUNN OG HENSIKT

I Tyholt-tunnelen mellom Stavne og Leangen i Trondheim, er det problemer med at man mister signal med togene som kjører gjennom tunnelen. Det er antatt at dette problemet blant annet skyldes rust på skinner som i sin tur skyldes et fuktig miljø i tunnelen, først og fremst ved drypp direkte på spor. Den lave togtrafikken gjennom tunnelen er nok også en årsak til rustdannelse på skinnene. Bergarten er i hovedsak grønnstein/grønnskifer. Hensikten med prosjektet har vært å redusere områdene med drypp direkte på spor. Hensikten har derfor primært vært å redusere og flytte lekkasjer, ikke nødvendigvis tette.

Tyholt-tunnelen er 2775 meter lang, og det ble kartlagt områder med lekkasje spredt over 646 meter. Dette utgjør 23% av tunnelens lengde. Det er kun naturlig ventilasjon i tunnelen og det er noen mindre partier med betonghvelv.

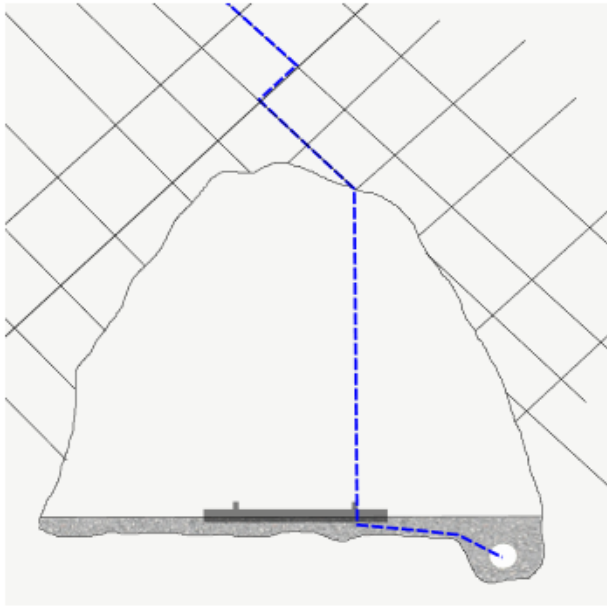
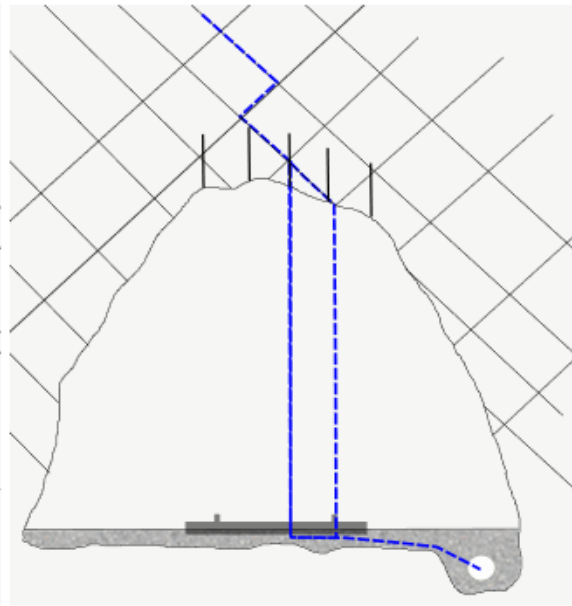
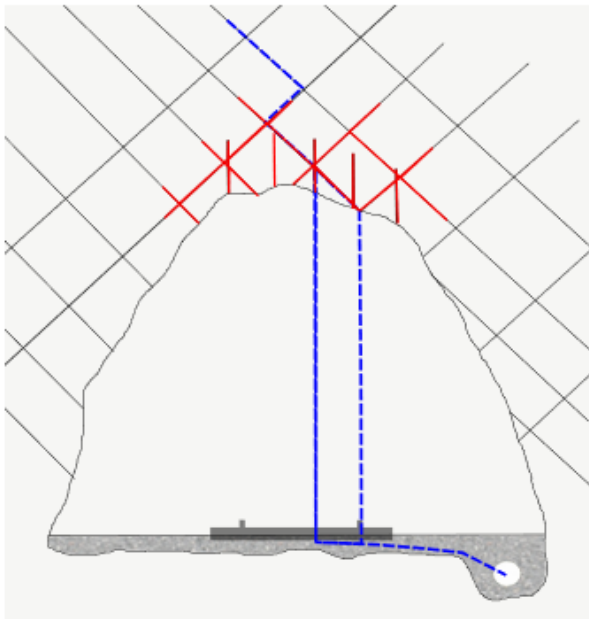
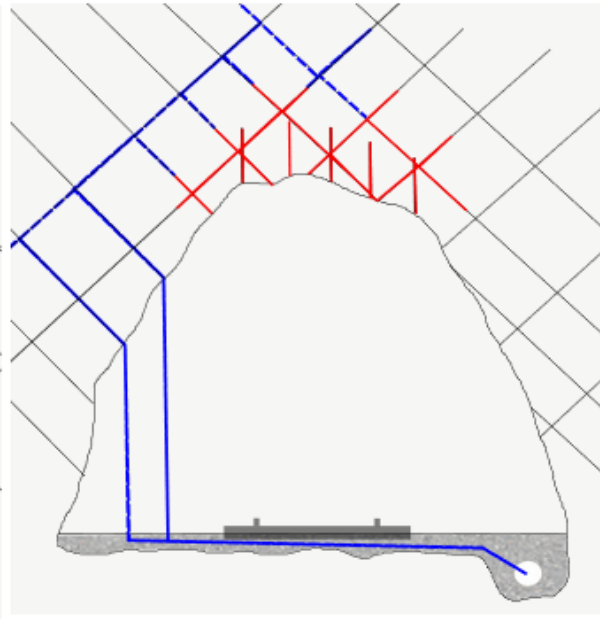
METODE OG AMBISJONSIVÅ

Valgt metode for å redusere lekkasjene er kjemisk injeksjon med polyuretan. Det ble benyttet 1-komponent polyuretan injeksjonsmasse som ved kontakt med vann eller fuktighet reagerer og ekspanderer. Ved reaksjonen dannes CO-gass, som presser injeksjonsmasse inn i finere sprekker og riss, såkalt aktiv inntrengning. Passiv inntrengning oppnås vha. pumpetrykk (Totalprosjekt Namsskogan AS, 2020).

Denne løsningen ble valgt fordi den ikke vil tilføre tunnelen nye konstruksjoner som videre vil skape merarbeid ved elektrifiseringen som er planlagt, samt at BaneNOR hadde gode erfaring med denne metoden fra vannsikring i mindre skala i tunneler på Nordlandsbanen. Det ble blant annet diskutert om duk kunne være et alternativ. Da ville man være sikret et godt resultat, men en konstruksjon som duk var ikke ønskelig i tunnelen.

Målsetting med arbeidene var at etter injeksjon skulle det ikke forekomme drypp direkte på spor eller elektriske installasjoner og dermed redusere rustdannelse og signalfeil.

Det var på forhånd forståelse for at det sannsynligvis ville være vanskelig å stoppe lekkasjene innenfor fornuftige rammer med tanke på økonomi. Det var derfor tilstrekkelig at lekkasje ikke nødvendigvis ble stoppet, men kun flyttet til utenfor sporet, se prinsippskisse i Figur 1. Det var også på forhånd forståelse for at man i noen områder sannsynligvis måtte injisere i flere omganger for å oppnå målet.

**STEG 1: LEKKASJEPUNKT****STEG 2: BORING AV HULL****STEG 3: INJISERING****STEG 4: ETTER INJISERING**

Figur 1: Prinsippskisse for arbeidet. Blått er vann, rødt er injeksjonsmasse.

ERFARINGER

Ventilasjon: Tyholt-tunnelen er en tunnel med kun naturlig ventilasjon. Trekken i tunnelen er uforutsigbar og har varierende retning og kan snu på kort tid. Dette var en problemstilling som var kjent på forhånd, og som skapte store problem fra første dag i anleggsfasen. Det ble benyttet gassmålere på anlegget og før tilstrekkelig ventilasjon kom på plass, var det store forsinkelser i arbeidet grunnet grenseverdier som ble overskredet og medførte stopp i arbeidene. Parallelt med injeksjonsarbeidene ble det også utført arbeider på nattestid. Naturlig

utlufting av tunnelen på nattestid forekom da heller ikke. Det ble etter hvert benyttet to store tunnelvifter for å oppnå tilstrekkelig ventilasjon.

Boring: For boring av hull ble det benyttet en Commando rigg plassert på en vogn bak en skinne/veg gravemaskin. Boring av hull lå tidvis langt foran injeksjonsarbeidet og det var derfor vanskelig å justere opplegget med påmerking og boring av hull, basert på resultatene fra injiseringen.

Samme boreriggen ble også benyttet for boring av hull til sikringsbolter. Det var større diameter for hull til sikringsboltene enn injeksjonshullene. Det ble boret en del injeksjonshull med feil diameter på grunn av uklarheter rundt dette. Dette skapte dårlige forhold for injisering og dobbeltarbeid med boring av nye hull med riktig diameter for injisering.

Støv: Boring av hullene medførte tidvis mye støv i tunnelen. Svevestøv fra boring og maskiner medfører en helserisiko for personell, og store mengder borestøv kan også tette pukk og dreneringssystem.

Injisering: Injisering lå tidvis langt etter boringen av hull. Dette på grunn av at boring måtte skje først og ble prioritert, samt ulik hastighet på arbeidene. Det ble også forsinkelse på grunn av problemer med ventilasjonen. Det tok derfor litt tid før man fikk de første resultatene fra injeksjonsarbeidene. Ettersom boring av hull ble ferdig, ble det høyere hastighet på injeksjonsarbeidet.

Nedfall og fjellsikring: Tidlig i anleggsfasen skjedde et nedfall av blokk fra veggen i tunnelen. Personell i området stod ikke nær blokken som raste ut, men det kunne fort skjedd en alvorlig hendelse. Det var tydelig at sprekker som avløste blokken ble fylt med injeksjonsmasse som sannsynligvis reduserte friksjonen, samt muligens også jekket blokken ut, se Figur 2. Det er viktig å utføre tilstrekkelig kontroll med rensk og/eller boltesikring før injeksjon starter. Det er også viktig å ikke stå under eller nær der man injiserer, spesiell forsiktighet må vises når pakker og pumpe slangefraskilles.



Figur 2: I dette partiet forekom det et nedfall av en stor blokk (gul pil). Den manglende blokken gir et innblikk i hvordan injeksjonsmasse er fordelt utover sprekkeplan. Fjellsikring ble utført først etter nedfall.

RESULTATER

En av utfordringene med å vurdere resultatet på injiseringen er at innlekkasjene varierer med årstider og er sterkt påvirket av værforhold. Er det vått vær, er innlekkasjene større, mens er det tørt vær er det mindre. Dermed kan lekkasjemengder og prioriteringer variere fra befaring til befaring. Etter injeksjon kan et tilsynelatende godt resultat endre karakter etter nedbørsrike perioder. Spesielt i starten av anleggsperioden var det tørre forhold, kaldt og fint vær. Det ble da observert mye mindre lekkasjer i tunnelen. I tillegg medførte økt ventilasjon i tunnelen en reduksjon i vann og fuktighet.

Befaring for å kartlegge resultater ble utført på våren under antatt våte forhold. Snøsmelting var godt i gang/ferdig og det hadde vært relativt mye nedbør i uken før. På befaringen ble det tatt utgangspunkt i en rangering:

- Ok: Resultat er tilfredsstillende, men ofte fukt i heng eller fukt i pukk etter sjeldne drypp.
- 4: Ganske bra resultat, men ikke 100 %. Drypp i størrelsesorden 1 drypp sjeldnere enn 10 sek.
- 3: Middels resultat. Lekkasje i størrelsesorden 1-2 drypp per 5-10 sek og fukt på skinne.
- 2: Ganske dårlig resultat, men ikke så dårlig som 1. Lekkasje i størrelsesorden 1 drypp per sekund nær eller på skinne.
- 1: Dårlig resultat. Kontinuerlig lekkasje og drypp på skinne.

Oppsummering av resultatene er vist i Tabell 1. Tabellen viser at 50% av injisert tunnelmeter har kommet i kategorien ok eller 4, som vil si «tilfredsstillende» og «ganske bra» resultat.

Tabell 1: Oversikt over resultat etter sluttbefaring.

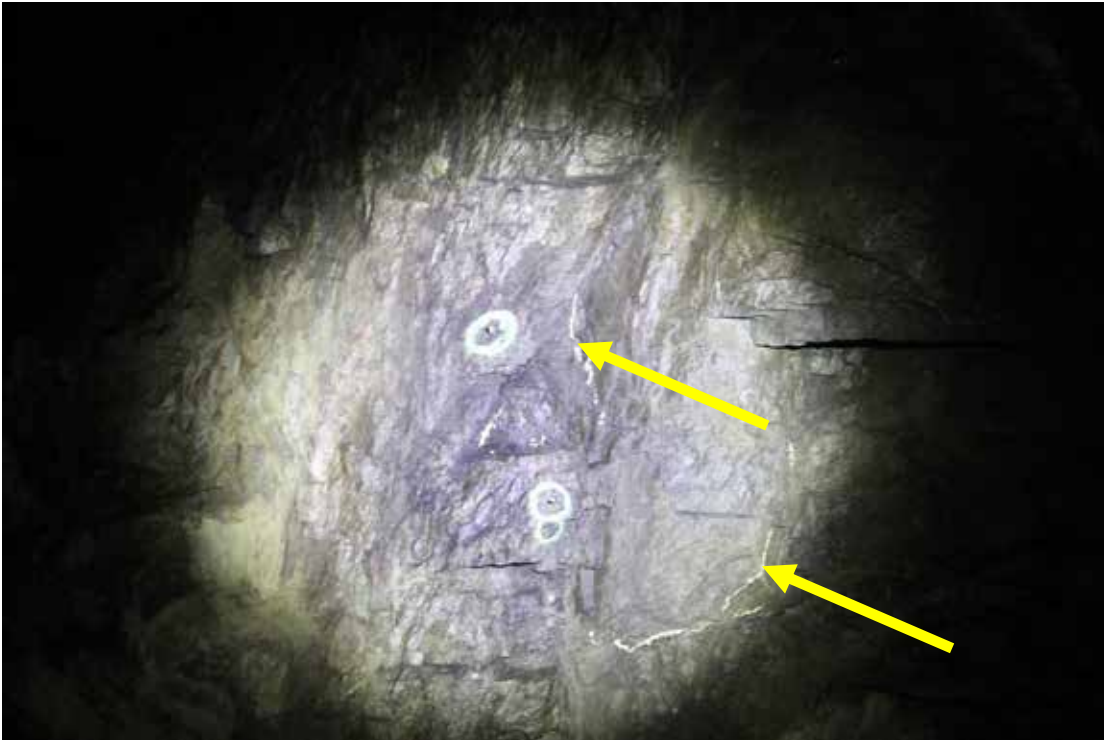
	Lengde i meter	%
Ok	79	17
4	156	33
3	131	28
2	97	21
1	8	2
Sum	471	100

Det generelle inntrykket er at tunnelen er betydelig tørrere enn før injiseringsarbeidet startet. Kun et fåtalls lekkasjepunkter er blitt tørre, men ambisjonsnivået tilsa at det ikke skal dryppe eller renne vann på installasjoner og dette er oppnådd i 50% av løpemetere som ble injisert. For de resterende 50% er ikke resultatet tilfredsstillende. Det forekommer fremdeles lekkasjer som sannsynligvis vil medføre rust på skinner og sannsynligvis også signalproblemer. Erfaring vil vise om antall signalfeil reduseres tilsvarende reduserte områder med drypp på spor.

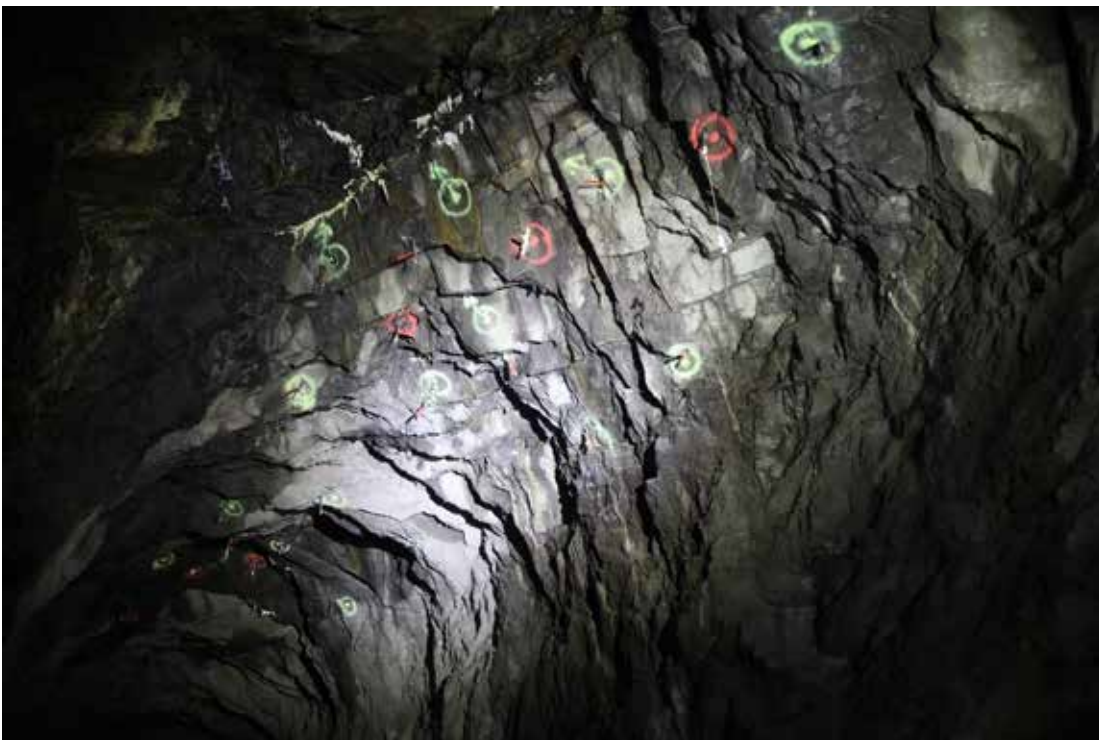
Figur 3 til Figur 5 viser eksempler på forskjellige lekkasjer som ble injisert.



Figur 3: Eksempel på systematisk felt.



Figur 4: Eksempel på punktlekkasje tettet med to hull. Det er også mulig å observere utgang av injeksjonsmasse i sprekker (gule piler).



Figur 5: Eksempel på lekkasje som er forsøkt injisert i flere omganger. De grønne merkene indikere hullene som ble boret og injisert først, og de røde merkene indikere hull som ble boret og injisert i neste omgang. Piler ved sirkler indikerer ønsket retning på hull.

OPPSUMMERING OG KONKLUSJON

Det er et ganske omfattende arbeid å etterinjisere så pass mange punkter og tunnelmeter. Oppmerksomheten skal fordeles utover et stort område, og resultatet vil avhenge av innsatsen per punkt. Midlene som var avsatt til prosjektet var ikke store nok til å kunne oppnå tilfredsstillende resultat for alle punkter. I noen av punktene hvor det fremdeles er lekkasjer, er lekkasjene store og innsatsen som kreves for å tette disse er sannsynligvis store og kostbare.

Inntrykket er at metoden kan anvendes for å redusere og flytte lekkasjer, men at den er best egnet for mindre og konsentrerte områder. Type bergart og oppsprekkingsgrad vil antagelig også ha betydning. I dette eksempelet var det snakk om ca. 500 tunnelmeter som skulle injiseres iht. et budsjett og det er krevende. Det må da også regnes med at man må tilbake for å etterinjisere enkelte områder, gjerne flere ganger, for å oppnå et tilfredsstillende resultat. Det er viktig at det beregnes tid og rom i budsjettet til dette. Usikkerhet i omfang og utførelse er stor, og det er vanskelig å legge opp et budsjett med stor sikkerhet.

Det er også viktig å understreke at problemstillinger som for eksempel fjellsikring og ventilasjon må tas på alvor. Dette er faktorer som kan gi både farlige situasjoner og være et alvorlig HMS problem.

Om metoden skal benyttes i et slik omfang som i Tyholt-tunnelen er det viktig med god tid tilgjengelig, slik at man kan injisere i flere omganger for å øke sannsynligheten for tilfredsstillende resultat. For å oppnå ønsket resultat i Tyholt-tunnelen der alle områder kunne klassifiseres som OK eller 4 ville det f.eks. kunne kreve dobling av tid til gjennomføring og dobling av kostnader, men fremdeles med stor usikkerhet i resultat. For situasjoner som Tyholt-tunnelen, ansees metoden derfor kun å være egnet der andre alternativ er vurdert og funnet uegnet. Med tanke på at det ikke var ønskelig å montere konstruksjoner i tunnelen, som dermed utelukket f.eks. duk, var det nok i realiteten ikke så mange andre aktuelle metoder å benytte. Andre metoder (som f.eks. sprøytbare membraner) ville også ha usikkerheter ved seg.

Referanser

Totalprosjekt Namsskogan AS. (2020). *Stavne-Leangen banen FDV dokumentasjon (A1-A8) Underbygning*. BaneNOR.

Roar Sve, Skanska Norge
Styremedlem i Norsk forening for fjellsprengringsteknikk

PRESENTASJON – HÅNDBOK 11 - BERGBOLTING

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

Tone Nakstad
Generalsekretær i Norsk forening for fjellsprenningsteknikk

HÅNDBOK FOR BERGSPRENGERE

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

TUNNELOPPGRADERING OSLO – STATUS OG ERFARINGER

Tunnel upgrade in Oslo – status and experiences

Elin Hermanstad Havik, Statens vegvesen

SAMMENDRAG

Tunnelrehabilitering Oslo har vært en del av ett landsdekkende prosjekt, som har omfattet 200 tunneler på riksveger i hele landet. Arbeidene startet i 2015 og bakgrunnen for rehabilitering og oppgradering er Tunnelsikkerhetsforskriften fra 2007 og nødvendig vedlikehold av tunnelen. Tunnelsikkerhetsforskriften får anvendelse på tunneler med lengde på over 500 meter på det transeuropeiske vegnettet (TERN) og på andre riksveger.

Planleggingen av Tunneloppgraderingen i Oslo startet allerede i 2012, og Statens vegvesen så en stor utfordring i forhold til effektiv anleggsgjennomføring samtidig som trafikk skulle avvikles på en mest mulig skånsom måte. Det viste seg derfor tidlig at det var nødvendig å ferdigstille tunnelene på Ring 3 først, før man oppgraderte de andre tunnelene som benytter Ring 3 som omkjøringstrase.

Tunneloppgraderingen i Oslo omfatter 10 tunneler, og 3 tunnellokk. Arbeidene startet i 2015, og vil pågå til 2026. Det har vært utført noen forberedende tiltak på tilstøtende vegnett som for eksempel egen omkjøringsveg for buss, kollektivfelt, innfartsparkeringer og skilting. Kommunikasjonstiltak i forkant av tunnelstengningene har også vært viktige siden stengning av ett tunnelløp reduserer kapasiteten med 50%, og for å unngå for lange køer må færre kjøre bil. Statens vegvesen har i dette prosjektet lyktes godt med de kommunikasjonstiltakene som har vært benyttet.

For mange av de eldre tunnelene har det vist seg at dokumentasjonen på det som ble utført har vært av varierende kvalitet. Selv om Statens vegvesen har forsøkt å kartlegge alle forhold før utlysning av en kontrakt, så har man ved alle oppgraderingene måtte vært forberedt på at det kan dukke opp noe uforutsett. Det er derfor viktig å få til ett godt samspill mellom byggherre og entreprenør, og sørge for at begge parter har nødvendig kompetanse og kapasitet til å løse disse mindre utfordringene som vil oppstå.

Se mer om prosjektet på www.vegvesen.no/vegprosjekter/tunneleroslo

SUMMARY

Tunnel rehabilitation in Oslo has been part of a nationwide project, which has included 200 tunnels on national roads throughout the country. The work started in 2015 and the background for rehabilitation and upgrading is the Tunnelsikkerhetsforskriften from 2007 and necessary maintenance of the tunnel. The Tunnelsikkerhetsforskriften apply to tunnels with a length of more than 500 meters on the trans-European road network (TERN) and on other national roads.

The planning of the Tunnel Upgrade in Oslo started already in 2012, and the Norwegian Public Roads Administration saw a major challenge in relation to efficient construction implementation at the same time as the traffic was to be handled. It therefore turned out early on that it was necessary to complete the tunnels on Ring 3 first, before upgrading the other tunnels that use Ring 3 as a detour.

The tunnel upgrade in Oslo includes 10 tunnels and 3 tunnel covers. The work started in 2015 and will continue until 2026. Some preparatory measures have been carried out on the adjacent road network, such as a separate bypass road for buses, public transport lanes, entrance car parks and traffic signs.

Communication measures in advance of the tunnel closures have also been important since the closure of one tunnel lane reduces capacity by 50%, and to avoid too long queues, fewer people have to drive. In this project, the Norwegian Public Roads Administration has succeeded well with the communication measures that have been used.

For many of the older tunnels, it has been shown that the documentation of what was carried out has been of varying quality. Although the Norwegian Public Roads Administration has tried to map all the conditions before announcing a contract, all the upgrades have had to be prepared for the fact that something unforeseen may arise. It is therefore important to have a good interaction between the client and the contractor and ensure that both parties have the necessary competence and capacity to solve these minor challenges that will arise.

For more information about the project, go to www.vegvesen.no/vegprosjekter/tunneleroslo.

INNLEDNING

Tunnelrehabiliteringsprosjektet har vært ett landsdekkende prosjekt, og har omfattet 200 tunneler på riksveger i hele landet. Arbeidene startet i 2014 og skulle etter planen være ferdig i 2019. Bakgrunnen for rehabilitering og oppgradering er Tunnelsikkerhetsforskriften fra 2007 og nødvendig vedlikehold av tunnelen. Tunnelsikkerhetsforskriften får anvendelse på tunneler med lengde på over 500 meter på det transeuropeiske vegnettet (TERN) og på andre riksveger. Forskriften gjelder for tunneler som er i bruk, under bygging eller på prosjekteringsstadiet. Formålet er å øke sikkerheten for trafikanter og utrykningsetater ved f. eks kollisjoner og brann. Flere av tunnelene var i en slik forfatning at det var behov for full rehabilitering, og utbedringene vil tilfredsstille kravene i Tunnelsikkerhetsforskriften. Arbeidet har krevd nødvendig utskifting av gammelt utstyr, samtidig som ny sikkerhet bygges inn i tunnelene, men hva som skal gjøres i hver tunnel avhenger av tunnelenes trafikkmengde, lengde og tilstand.

BAKGRUNN

Tunnelene i Oslo utsettes for så stor slitasje at det er behov for omfattende rehabilitering allerede etter 15-20 år på den elektriske utrustningen. Oslostunnelene er høyt trafikkerte, så i flere tilfeller gjør vi mer enn det som er påkrevd etter lover og forskrifter fordi en ikke kan stenge igjen kort tid etterpå for å skifte ut, eller rette, ting som kunne hatt noen få år til med restlevetid. Selv om vi har ganske få av det totale antallet tunneler som skal oppgraderes, kommer nok Oslo sammen med Akershus til å bruke ca 40 % av kostnadene til tunnelrehabilitering. I Oslostunnelane har Statens vegvesen estimert kostnaden til ca 4,5 mrd kr.

TUNNELOPPGRADERING OSLO - OVERSIKT

I Oslo er det 10 tunneler som er inkludert i prosjektet, disse er vist i figur 1. I tillegg vil det bli oppgradert 3 tunnellokk: Storo, Sjølyst og Bygdøy.



Figur 1: Oversikt over tunneler som skal oppgraderes

FREMDRIFT

Planleggingen av Tunneloppgraderingen i Oslo startet allerede i 2012, og Statens vegvesen så tidlig en stor utfordring i forhold til effektiv anleggsgjennomføring samtidig som trafikken skulle avvikles på en mest mulig skånsom måte. Det viste seg derfor at det var nødvendig å ferdigstille tunnelene på Ring 3 først, før man oppgraderte de andre tunnelene som benytter Ring 3 som omkjøringstrase.

I figuren under er det vist fremdriftsplanen for Tunneloppgradering Oslo, justert med reell utførelse for de ferdigstilte tunnelene.

Fremdriftsplan		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2025
Smestadtunnelen	Ring 3	■	■										
Granfosstunnelen			■	■	■	■							
Brynstunnelen				■	■	■							
Tåsentunnelen				■	■	■							
Ekeberg- og Svartdalstunnelen	Opera-tunnelen				■	■	■						
Festningstunnelen						■	■	■					
Vålerengtunnelen							■	■					
Storolokket	Tunnellokk							■	■				
Bygdøy- og Sjølystlokket									■	■			
Vaterland- og Hammersborgtunnelen	Ring 1									■	■	■	■

Figur 2: Fremdriftsplan Tunneloppgradering Oslo

OM TUNNELENE

Smestadtunnelen

Smestadtunnelen som ligger på Ring 3 (Rv. 150) har en lengde på 494 meter, og ble åpnet i 1983. Denne tunnelen ble prioritert høyest på grunn av lav bæreevne ved brann. Arbeidene startet i 2015, og ble ferdigstilt i 2016. Arbeidene ble gjennomført ved at man stengte ett tunnellop og hadde to-veis trafikk i det andre tunnellopet. Entreprenøren som utførte arbeidene, var Peab Anlegg AS.

Arbeider som ble utført var:

- Bedre brannbeskyttelse av tunnelen
- Reparasjon av betong
- Utskifting, og forbedring av vegbanen
- Oppgradering av alt teknisk utstyr, som lys, ventilasjon og sikkerhetssystemer
- Etablering av renseløsning for vann fra tunnelen

Granfosstunnelen

Granfosstunnelen ligger også på Ring 3 (Rv. 150), og ble åpnet i 1992. Granfosstunnelen bestod opprinnelig av to tunneler, den østre og vestre tunnelen, med en lengde på henholdsvis 1179 og 1019 meter. Disse to deltunnelene ble koblet sammen i ett kryss i dagsonen på Mustad, og tunnelen har i dag en lengde på 2373 m. Arbeidene startet høsten 2015, samtidig som Smestadtunnelen, og ble ferdigstilt i 2017. Arbeidene ble her også gjennomført ved stengning av ett tunnellop og to-veis trafikk i det andre tunnellopet.

Entreprenøren som utførte arbeidene, var Skanska Norge AS.

Arbeider som ble utført var:

- Utskifting av ventilasjon og elektroteknisk utstyr
- Utbedring av havarinisjer og rømningsveger
- Ny forsyning av brannvann
- Brannsikring av betongdelene av tunnelen som ikke var brannbeskyttet
- Nytt lokk over kryssområdet på Mustad

Brynstunnelen

Brynstunnelen som ligger på Ring 3 (Rv. 150) er 267 meter lang, og ble åpnet i 1970. Den er dermed Oslos eldste tunnel, og ble bygget samtidig med Ring 3 (Store ringvei).

Arbeidene startet i februar 2016, og ble ferdigstilt i 2017. Brynstunnelen ble ansett for å være den mest utfordrende av alle tunnelene som skal rehabiliteres i Oslo. Gjennom denne lille strekningen går både E6 og Ring3, og nærmere 70 000 biler i døgnet. Arbeidene ble gjennomført med stenging av ett og ett tunnellop for de tyngste arbeidene, og etter hvert som nattestengninger for å gi minst mulig utfordringer for trafikkavviklingen. Entreprenøren som utførte arbeidene, var Veidekke entreprenør AS.

Tunnelen var i veldig dårlig stand, så følgende arbeider er utført:

- Vann- og frostsikring
- Brannsikring
- Betongrehabilitering
- Elektroteknisk
- Teknisk bygg

Tåsentunnelen

Tåsentunnelen var den siste tunnelen på Ring 3 (Rv. 150) som ble oppgradert. Tunnelen er 1338 meter lang og ble åpnet i 1999. Arbeidene startet i 2016, og ble ferdigstilt i 2018. Arbeidene ble gjennomført ved stengning av ett tunnellop og to-veis trafikk i det andre tunnellopet. Entreprenøren som utførte disse arbeidene, var PEAB Anlegg AS.

Arbeider som ble utført:

- Utvide eksisterende tekniske bygg.
- Skifte ut og oppgradere alt teknisk utstyr, som lys, ventilasjon og sikkerhetssystemer.
- Bygge ny renseløsning med sedimenteringsbasseng for vaskevann fra tunnelen.
- Bygge vegger og tak i rømningsveier og montering av brannbeskyttelse i tunnelen.
- Punktvis utbedring av vegen og legging av ny asfalt.
- Midlertidig omlegging av gang- og sykkelvegen.

Ekeberg- og Svartdalstunnelen

Ekeberg- og Svartdalstunnelen er en del av Operatunnelen på E6 og E18. Ekebergtunnelen er 1583 meter lang og åpnet i 1995. Svartdalstunnelen er 1264 meter lang og åpnet i 2000.

Arbeidene startet i 2017 og ble ferdigstilt i 2019. Arbeidene ble gjennomført med både helstengning, arbeider i ett tunnellop av gangen og nattarbeider. Entreprenøren som utførte arbeidene var Skanska Norge AS.

Arbeider som ble utført:

- Utskiftning og oppgradering av teknisk utstyr inne i tunnelen
- Rehabilitering av kjørebane
- Utbedring av rømningsveger
- Bygging/utbedring av tekniske rom
- Utvidelse av eksisterende sedimenteringsbasseng

Festningstunnelen

Festningstunnelen inkludert ramper er også en del av Operatunnelen på E18.

Festningstunnelen er 1764 meter lang og åpnet i 1990. Arbeidene startet høsten 2019 og ble ferdigstilt høsten 2020. Arbeidene er gjennomført kun med nattestengning der det har vært jobbet i det ene løpet og hatt to-veis trafikk i det andre tunnellopet.

Entreprenøren som har utført arbeidene er Skanska Norge AS.

Arbeider som er utført:

- Brannbeskyttelse av betongtunneler
- Utskiftning og etablering av vann- og frostsikring
- Tiltak mot istappdannelser i tunneltak
- Bygging av nytt vannrenseanlegg
- Legging av ny pumpeledning
- Bygging av nytt teknisk bygg
- Utskiftning av diverse skilt og bommer
- Diverse trafikksikkerhetstiltak
- Utskiftning av elektroteknisk utstyr
- Etablering av supplerende rømningslys

Vålerengtunnelen

Vålerengtunnelen ligger på E6 (Rv. 190), er 832 meter lang og åpnet i 1987 (nordgående løp) og januar 1989 (begge løp). Arbeidene starter i februar 2020, og skal etter planen ferdigstilles i mai 2021. Arbeidene hjemføres ved stengning av ett tunnellop og to-veis trafikk i det andre tunnellopet. Entreprenøren som utfører arbeidene er AF Anlegg AS.

Arbeider som utføres:

- Skifte ut alt sikkerhetsutstyr
- Forsterke tunnelen i forbindelse med Bane NORs prosjekt "Kapasitetsøkning Brynsbakken". Vi skal fjerne gammel betong, forsterke fjellet, tette for vanninnslag og bygge nytt tunneltak og nye vegger.
- Bygge nye tekniske bygg

- Bygge ny renseløsning for vaskevann i tunnelen (sedimenteringsbasseng)
- Oppgradere eksisterende rømningsveier og lage flere nye
- Forbedre brannbeskyttelsen
- Reparere skadet betong
- Skifte ut det elektriske anlegget
- Reparere skader i vegbanen

Hammersborg- og Vaterlandstunnelen

Disse tunnelene ligger på Ring 1 (Rv. 162). Hammersborgtunnelen er en toløps betongkulvert som er 380 meter lang og som åpnet i 1989. I forbindelse med nytt regjeringskvartal, er det forutsatt at det skal gjøres tiltak på Ring 1 for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet for de nye regjeringsbyggene. I den forbindelse er det planlagt at Hammersborgtunnelen skal senkes, tunnelen skal forlenges mot øst og ramper til Akersgata og brannstasjonen skal stenges. Vaterlandstunnelen er en ettløpstunnel på 370 meter, og den åpnet i 1991. Vaterlandstunnelen rehabiliteres sammen med Hammersborgtunnelen. Arbeidene er avhengige av det nye regjeringskvartalet, og planlagt oppstart er medio 2023 og ferdigstillelse medio 2026. Strekningen vil helstenges i hele byggeperioden.

Tunnellokk – Storo, Sjølyst og Bygdøy

Storolokket er en utstøpt betongkonstruksjon på Ring 3 (Rv. 150). Lokket er 135 meter langt, har 2 løp med 2 felt i hvert løp, og ble åpnet for trafikk i 1994.

Sjølystlokket er en betongkonstruksjon av spennarmerte betongelementer på E18. Lokket er 176 meter langt, har 2 løp med 3 felt i hvert løp, og ble åpnet for trafikk i 2005.

Bygdøylokket består av to platebruer i betong som danner en rundkjøring over E18. Lokket er 38 meter lang, har 2 løp med 2 felt i hvert løp, og ble åpnet for trafikk i 1960.

Arbeidene er planlagt utført ved hjelp av nattestengninger og de skal utføres i perioden 2021-2023.

Arbeidet består i hovedsak av en byggeteknisk del med betongreparasjoner og montering av brannplater, og en elektroteknisk del med ny kabling, armaturer, lysstyring og tavler.

TRAFIKKAVVIKLING

I Oslo er trafikkmengden høy, og den varierer også for tunnelene som er inkludert i prosjektet Tunneloppgradering Oslo fra en ÅDT på ca 18 500 i Hammersborg- og Vaterlandstunnelen til rundt 70 000 i Operatunnelen.

Dette er en stor utfordring i forhold til effektiv anleggsgjennomføring samtidig som vi skal avvike trafikken. Statens vegvesen måtte legge opp til å ikke stenge tunnelene lengre enn absolutt nødvendig, noe som har medført anleggsdrift både dag og natt. Dette har krevd grundig planlegging ift stengetidspunkter, omkjøringsruter og koordinering mot andre etater og arbeider (eksempelvis Follobaneprosjektet som krysset under Ekeberg tunnelen).

For tunnelene i Oslo finnes det ingen egne omkjøringsveier. Det betyr at når en tunnel stenges vil det bli lengre og mer kø andre steder hvis alle fortsetter å kjøre bil. Det viste seg derfor tidlig at det var nødvendig å ferdigstille tunnelene på Ring 3 først, før man oppgraderte de andre tunnelen som benytter ring 3 som omkjøringstrase.

I planleggingen avdekket man også ett behov for å gjøre noe forberedende tiltak på tilstøtende vegnett.

Noen av tiltakene som ble utført var:

- Egen omkjøringsvei for buss (Smestad)
- Kollektivfelt sør og nord for Oslo på E6

- Innfartsparkeringer på Hvam, Olavsgård, Tusenfryd og Vinterbro og styrket busstilbud med nye rushtidslinjer fra innfartsparkeringene
- Skilting ved hjelp av eksisterende friteksttavler samt fysisk skilting lengre ut fra byen, eksempelvis nordfra rett etter Gardermoen.

KOMMUNIKASJON

Når man stenger ett tunnellop reduseres kapasiteten på vegen med 50%. En hovedutfordring var derfor å få kommunisert ut at det ville bli lange køer hvis ingen lot bilen stå. Det ble planlagt og gjennomført tydelige og målrettede kommunikasjonsstiltak før hver tunnelstengning for å oppfordre de som har mulighet til å la bilen stå og velge alternative reisemåter som kollektivt, sykle eller gå.

Før stengningen av Smestadtunnelen ble det derfor jobbet aktivt med mange kanaler som bla vegvesen.no (se bilde 1), nærinfo, brosjyrer, media, fagtidsskrifter, møter og sosiale medier der hovedbudskapet var «La bilen stå!» og «Buss før bil!», ellers så blir det lange køer.



Bilde 1: Eksempel fra forsiden på vegvesen.no i februar 2016.

Denne kommunikasjonsstrategien har vært med gjennom hele prosjektet, og før stengingen av Brynstunnelen i 2016 ble det engasjert ett eksternt selskap, Los&Co, for bistand med informasjonskampanjen. Hovedbudskapet ble nå endret til «Snarveien blir omvei – og omveien blir snarvei». Denne kampanjen pågår enda, også for oppgraderingen av Vålerengtunnelen som ferdigstilles våren 2021. De samme kanalene som nevnt over ble benyttet, og det ble lagd forskjellige typer annonser til bruk i media, bannere for bruk i for eksempel Facebook, informasjonsmateriell, radiospotter og filmer (se bilde 2-4). For arbeidene med Vålerengtunnelen har det også vært ett samarbeid med Vålerenga fotball for å nå ut med budskapet. For arbeidene med Vålerengtunnelen fikk man dessverre en ekstra utfordring, Covid-19. Dette gjorde at Statens vegvesen ikke lengre kunne oppfordre folk til å la bilen stå, og heller benytte kollektiv. På tross av dette ser det ut som trafikkavviklingen rundt tunnelen går veldig bra, og Oslofolk begynner nok å være vant til at det er køer i forbindelse med oppgraderingsarbeidene.



Bilde 2. Eksempel på annonse for bruk i media.



Bilde 3. Eksempel på banner for bruk i sosiale medier



Bilde 4. Eksempel på informasjonsmaterieil

ARBEIDSGRUNNLAG («AS BUILT»)

For mange av de eldre tunnelene har det vist seg at dokumentasjonen på det som ble utført har vært av varierende kvalitet. Selv om Statens vegvesen har forsøkt å kartlegge alle forhold før utlysning av en kontrakt, så har man ved alle oppgraderingene måtte vært forberedt på at det kan dukke opp noe uforutsett. Det er derfor viktig å få til ett godt samspill mellom byggherre og entreprenør, og sørge for at begge parter har nødvendig kompetanse og kapasitet til å løse disse mindre utfordringene som vil oppstå.

I kontraktene er dette synliggjort gjennom følgende beskrivelse:

«For entreprenørens planlegging og utførelse av arbeidene gjelder generelt at det stilles store krav til kapasitet, fleksibilitet og evne til å ta inn forsinkelse som følge av uforutsette forhold. Entreprenøren er pålagt et større ansvar enn vanlig og kan ikke påregne fristforlengelses-

eller forseringstillegg pga. forhold som er av en slik art at de må forventes ved gjennomføringen av kompliserte arbeider i byområder, eller er av en slik art som er vanlig for denne type anleggsarbeider. Dette skal entreprenøren ta høyde for i sine fremdrifts- og bemanningsplaner.»

OPPSUMMERING

Tunnelrehabiliteringsprosjektet har vært ett landsdekkende prosjekt, og har omfattet 200 tunneler på riksveger i hele landet.

Tunneloppgraderingen i Oslo omfatter 10 tunneler, og 3 tunnellokk. Det har vært utført noen forberedende tiltak på tilstøtende vegnett som for eksempel egen omkjøringsveg for buss, kollektivfelt, innfartsparkeringer og skilting. De fysiske arbeidene i Tunneloppgraderingen i Oslo har nå pågått i over 5 år, og hovedtyngden av arbeidene blir ferdigstilt første halvår 2021. Det gjenstår da rehabilitering av tunnellokkene Storo, Sjølyst og Bygdøy, samt oppgradering av Hammersborg- og Vaterlandstunnelen.

Kommunikasjonstiltak i forkant av tunnelstengningene har også vært viktige siden stengning av ett tunnellopp reduserer kapasiteten med 50%, og for å unngå for lange køer må færre kjøre bil. Statens vegvesen har i dette prosjektet lyktes godt med de kommunikasjonstiltakene som har vært benyttet.

Det største suksesskriteriet har vært det offensive informasjonsarbeidet Statens vegvesen planla i forkant av arbeidene, og man har i stor grad lyktes med å være i forkant med gode informasjonskampanjer som har hindret de altfor lange kødannelsene i trafikken.

For mange av de eldre tunnelene har det vist seg at dokumentasjonen på det som ble utført har vært av varierende kvalitet. Selv om Statens vegvesen har forsøkt å kartlegge alle forhold før utlysning av en kontrakt, så har man ved alle oppgraderingene måtte vært forberedt på at det kan dukke opp noe uforutsett. Det er derfor viktig å få til ett godt samspill mellom byggherre og entreprenør, og sørge for at begge parter har nødvendig kompetanse og kapasitet til å løse disse mindre utfordringene som vil oppstå.

REFERANSER

www.vegvesen.no

FOR-2007-05-15-517 Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften)

Niclas Nilsson
Forcit Sverige

LIVSSYKLUSANALYSE OG MILJØDEKLARASJON AV SPRENGSTOFFER

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

Rolf Jakobsen
Foamrox

NYE METODER FOR VANN- OG FROSTSIKRING

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

Peder Andersen
Andersen Mek. Verksted AS

FREMTIDENS PRODUKTER – MILJØ OG EFFEKTIVITET

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

Arve Brekkhus, Byggeindustrien
Kjersti Kvalheim Dunham, Norconsult

KÅRING AV VINNER I FOTOKONKURRANSEN

Innlegget gitt muntlig på konferansen uten utgivelse av skriftlig referat.

FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK 2020**E39 KRISTIANSAND VEST - MANDAL ØST – DIGITALISERING****Digitalization in the road project E39 Kristiansand West – Mandal East**

Gjermund Dahl, Norconsult

SAMMENDRAG

E39 Kristiansand vest - Mandal øst er et veiprojekt som er under bygging (2018 – 2022) på Sørlandet. Prosjektet er en totalentreprise hvor AF Gruppen er totalentreprenør. Nye Veier er byggeier. I kontrakten er det satt ambisiøse krav til innovasjon og digitalisering.

Norconsult er rådgiver for AF Gruppen. Sammen har de to og Norconsult Informasjonssystemer utarbeidet en ny standard for digital informasjonsflyt. De har utviklet nye leveranser og løsninger for å imøtekomme kravene, digitalisere seg selv og bransjen.

Gjennom en etablert informasjonsstruktur, nye samhandlingsrutiner og nye løsninger har prosjektet prosjektert og bygget samtidig. Fagdisiplinene har levert modeller som arbeidsgrunnlag som også muliggjør kobling mellom modell og (slutt)dokumentasjon. BIM og GIS kombineres for å oppnå dette.

Kravene har krevd utvikling utover hyllevare. Investeringer er gjort for å sikre leveransen og samtidig oppnå en heldigital leveranse. For dette arbeidet har prosjektet mottatt nasjonale og internasjonale priser.

Et godt eksempel på digitalisering er alle konstruksjonene i prosjektet. Disse er heldigitale – det betyr at de er godkjent modellbasert og bygges helt uten tegninger.

Modellene og tilhørende dokumentasjonen skal videre leveres til Nye Veier og danner utgangspunkt for deres forvaltning, drift og vedlikehold (AIM).

SUMMARY

E39 Kristiansand West - Mandal East is a road project under construction (2018 – 2022) in Southern Norway. The Project is a design and build contract where AF Gruppen is the contractor. Nye Veier is the client. In the contract, ambitious requirements for innovation and digitization have been set.

Norconsult is the consultant for AF Gruppen. Together, and with Norconsult Information Systems, they have developed a new standard for digital information flow. They have developed new deliveries and solutions to meet the demands, digitize themselves and the industry.

Through an established information structure, new collaboration routines and solutions, the project has been designed and built at the same time. The disciplines have produced models for construction. The models also enable a link between model and documentation. BIM and GIS are combined to achieve this.

The requirements have required development beyond the available tools in the market. Investments have been made to ensure delivery and at the same time achieve a fully digital delivery. For this work, the project has received national and international awards.

A good example of digitization is the constructions in the project. These are all fully digital – meaning they are approved model-based and built completely without drawings.

The models and connected documentation will be delivered to Nye Veier and form the starting point for their asset management, operations and maintenance (AIM).

BAKGRUNN

I store samferdselsprosjekter er det ikke mangel på datamengde eller dokumentasjonsrutiner som er utfordringen. Utfordringen er hvordan man får strukturert dokumentasjonen og får ut verdifull informasjon fra dataene.

Bakgrunnen for digitaliseringen i prosjektet er mye grunnet kravene som er satt i kontrakten. Og fordi i store samferdselsprosjekter er det ikke mangel på datamengde eller dokumentasjonsrutiner som er utfordringen, hvordan få strukturert dokumentasjonen og få ut verdifull informasjon fra dataene.



Figur 2 Dimensjoner i fullintegrert BIM - Norconsult

Kravene i kontrakten tilsier det Norconsult har definert som fullintegrert BIM. Med de dimensjoner som er vist på bildet over. I sin korthet betyr det å presentere de nødvendige modeller (med strukturert informasjon på elementene), sammen med annen prosjektinformasjon, for gjennomføring og dokumentasjon. Samt sikre tilstrekkelig informasjon for byggverket sin videre drift, forvaltning og avvikling.

I kontrakten for E39KM er det totalt identifisert over 100 krav til digitalisering og BIM. Et utdrag av kravene er listet opp under:

BIM Level 3

- Én eneste, unik felles kilde til informasjon (BIM-modellen)
- Implementeringsstrategi
- Sømløs kommunikasjon mellom ulike datakilder/databaser
- Web-basert innsynsløsning, med detaljerte krav til denne
- Metadata tilknyttet prosjektinformasjon
- VDC i prosjektering
- VR / AR

På denne måten vil Modellene / skal BIM

- representere alle fag, inkl. grunnlagsdata, regulering etc.
- fungere som arbeidsgrunnlag, også for maskinstyring og stikning
- vise egen modenhetsutvikling
- være knyttet til all relevant kvalitets- og FDV dokumentasjon
- fortløpende vise prosjektets fremdrift
- vise hendelser og avvik tilknyttet HMS
- *mer enn før...*

Kravene tilsier at dagens (2018) verktøy og metoder ikke kunne dekke behovet. Og prosjektet måtte utvikle løsninger for alle involverte parter. Fra start og til overlevering.

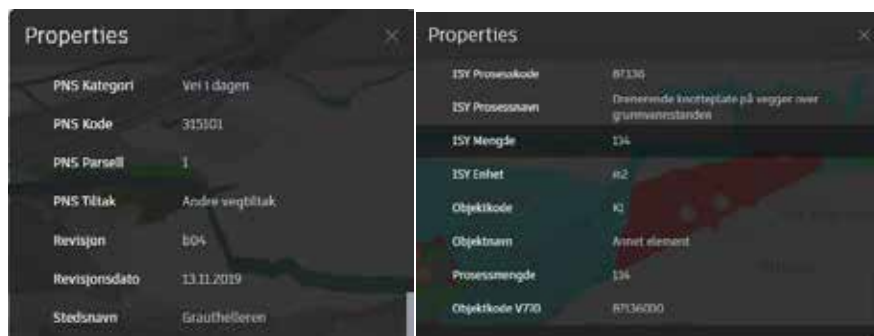
ÅPNE FORMATER & INFORMASJONSSTRUKTUR

Et av kravene til prosjektet er å levere på åpent format. For å kunne ivareta informasjonsbehovet og dette kravet har prosjektet valgt .IFC formatet. Formatet som er benyttet er 2.3. Det har i dag ingen direkte oppsett eller struktur tilpasset samferdsel, men likevel ivaretar .IFC det grunnleggende – å formidle informasjon som kan benyttes gjennom hele verdikjeden i prosjektet. Og til sluttdokumentasjon.

For å erstatte tegningene og formidle informasjon er det en forventning, hvis ikke forutsetning, at denne informasjonen må struktureres. Vår erfaring tilsier også at informasjonsmengden må siles ned til det som faktisk gir verdi.

Prosjektet definerte en informasjonsstruktur for alle elementer og modeller. Strukturen er basert på kravene i kontrakt for PNS (prosjektnedbrytningsstruktur) og for å ivareta kobling mellom modell og sluttdokumentasjon. Det påføres egenskapssett på elementene som las oss identifisere lokasjon, disiplin og identifisering av type modell/dokumentasjon. Strukturen er flat og ikke avhengig av hierarkiske oppbygninger. Hva det muliggjør er beskrevet under INNSYNSLØSNING.

Egenskapssettene som er benyttet dekker generelle og disiplinrelaterte egenskaper.



Figur 3 Egenskaper modell hentet fra ISY Prosjekt

En annet krav i kontrakten var kravet til interoperabilitet (BIM level 3). Forutsetningen for å få nettopp sømløs dataflyt ligger i strukturen i modellene og informasjonen på elementene. Det starter i prosjekteringen. Her må de ID'ene tilføres som prosjektet og løsningene krever. Mange verktøyene som finnes i dag har mulighet for å tilegne egenskaper og få disse med til åpne formater. Likevel er det de færreste som gjør dette effektivt og uten behov for spisskompetanse. Prosjektet så seg derfor helt avhengig av å finne de verktøyene vi kan strekke så langt vi klarer i kombinasjon med egenutviklede script og tilleggsapplikasjoner. Hyllevarer lar oss ikke gjøre dette i dag. Det er flere grunner til dette, men noen av de er manglede standarder (som nevnt på .IFC) og at det ikke finnes fastsatte egenskaper som alle byggeiere eller kunder har blitt enige om.

Kravet til åpent format og informasjon sammenfaller også svært godt med kravet vi har for å sette status på modellene for modenhet og tilhørende risiko.

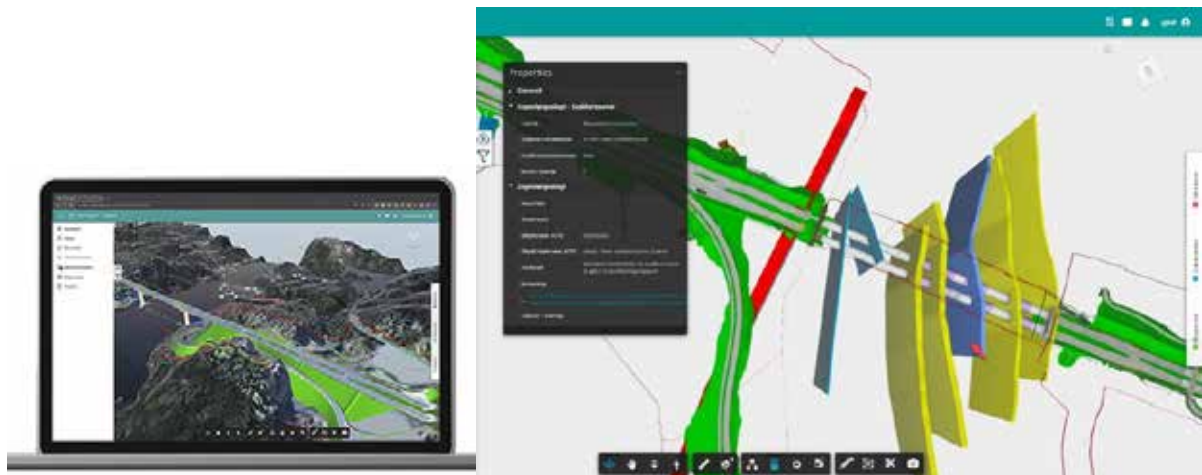
INNSYNSLØSNING

På bestilling fra AF Gruppen er det utviklet to separate løsninger. Den ene er for å samle inn data tilknyttet prosjektinformasjon innenfor kvalitet, sluttokumentasjon, hms m.m., og den andre er en løsning for innsyn til alt av arbeidsgrunnlag og modeller.

I tillegg er det jobbet mye med å automatisere ulike prosesser for sømløs informasjonsflyt ved å opprette integrasjoner mellom ulike systemer som Synergi og SharePoint.

Gjennom den definerte informasjonsstruktur, som kan benyttes på tvers av disipliner og informasjonskilder, er vi nå i stand til å bygge løsninger som tilgjengeliggjør prosjektinformasjon på en ny måte. Innsynsløsningen gjør nettopp dette.

Utover at innsynsløsning er integrert med flere av de mest sentrale informasjonssystemene i prosjektet, er det etablert en ny måte for å navigere i BIM-modeller og informasjon. Dette er basert på filter og smarte søk, og bidrar til å senke terskelen for å bruke slike løsninger på kontoret og byggeplassen. Bildet under til venstre viser filtrert modell på Vei, Tunnel og Ingeniørgeologi. Modellen fra Ingeiørgeologi har igjen de egenskaper påført for å formidle informasjon og kobling til relevant dokumentasjon.



Figur 4 Modellvisning i ISY Prosjekt - NoIS

Modellene / arbeidsgrunnlaget inneholder egenskaper på elementnivå, og er tilgjengelig både gjennom prosjektets innsynsløsning samt andre visningsprogram som kan lese modellene.

Den digitale, skybaserte innsynsløsningen som ble utarbeidet spesielt for prosjektet, er basert på NoIS sin dataplattform ISY Prosjekt. Løsningen gjør at alle aktører i prosjektet kan hente ut digitale rapporter, modelldetaljer, status som MMI og annen viktig informasjon i nær sanntidskvalitet.

Dette gir en uhyre presis oversikt, som lar byggherre og andre aktører følge opp alt fra risiko, fremdrift, HMS og modeller, til dokumentasjon og FDV-informasjon (forvaltning, drift og vedlikehold).

Informasjonen kan hentes ut både online og offline, på kontoret, brakken og på byggeplass. ISY Prosjekt gjør at alle aktørene har én felles kilde til informasjon.

ISY Prosjekt er kommersielt tilgjengelig på markedet for andre prosjekter.

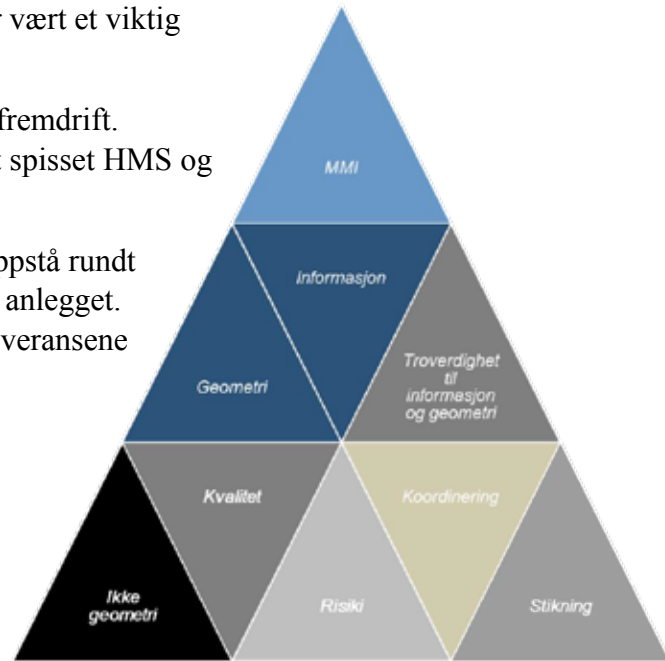
MODELLMODENHETSINDEKS

En vesentlig suksessfaktor i overgang til modellbasert gjennomføring er bruk av modellmodenhetsindeks (MMI). MMI er noe prosjektet har erfaringer med fra tilsvarende prosjekter. MMI gir prosjektet oversikt over hvor langt modellene har kommet i prosjektering, kvalitetssikring og i eventuelle godkjenningsprosesser. Det understøtter også mulighet for samtidig prosjektering og bygging gjennom fordeling av risiko på utsendt arbeidsgrunnlag.

På den måte har bruk av omforent modellmodenhet har vært et viktig styringsverktøy for prosjekterende og de utførende.

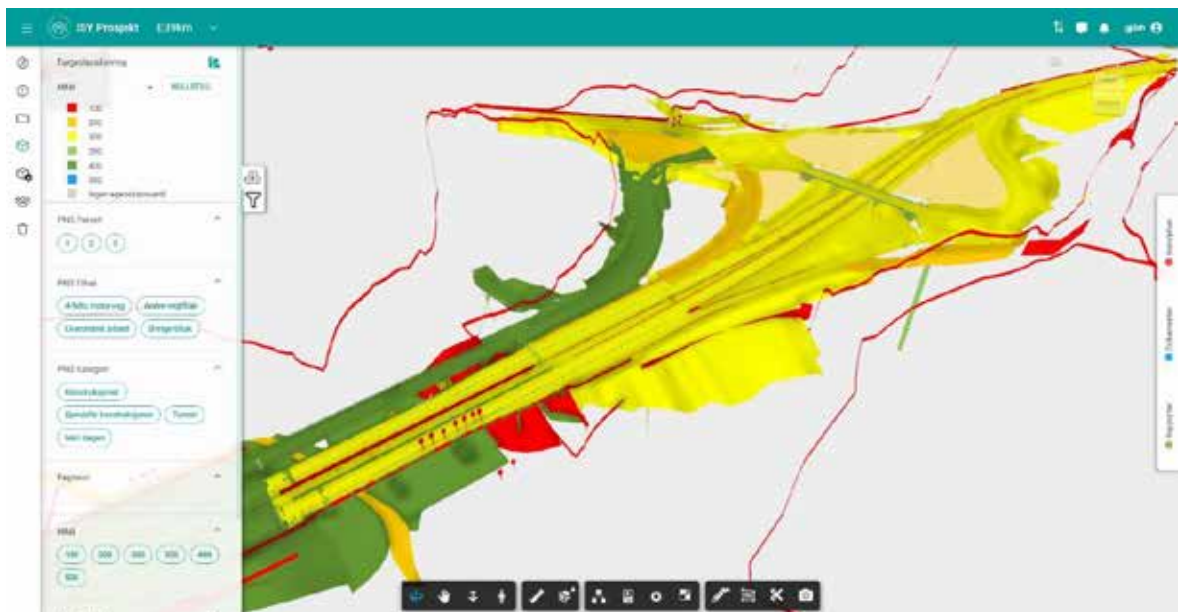
Sammen har prosjektet definert leveranser og planlagt fremdrift. Gjennom omforent risiko og modellinnhold har det gitt spisset HMS og gitt bedre forutsetning for validering av byggbarhet.

Samlet sett har dette redusert konfliktnivået som kan oppstå rundt behovet for data (geometri og informasjon). raskt ut på anlegget. Samtidig har det økt troverdigheten til løsningene da leveransene er omforent mellom prosjekterende og utførende.



Figur 5 MMI-oversikt - Norconsult

I innsynsmodellen er det filtre og visualiseringer av MMI.



Figur 6 Utsnitt fra ISY Prosjekt - AF Gruppen

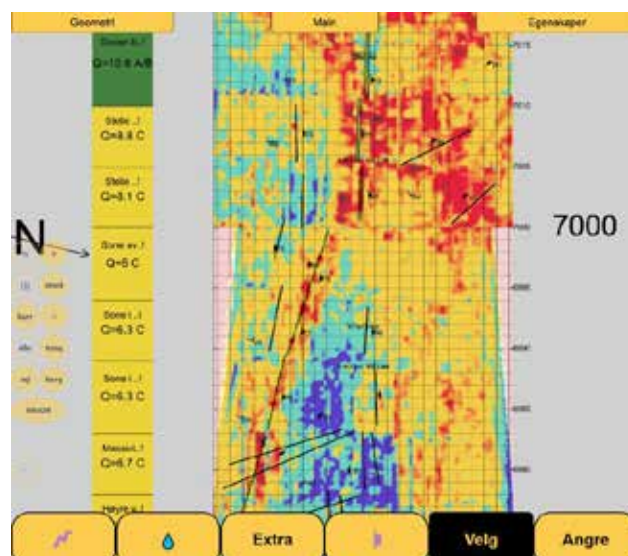
DISIPLINEKSEMPLER

Ingeniørgeologi

Norconsult har sammen med AF Gruppen benyttet app for geologisk kartlegging for tunnelene. Bever Control utviklet spesielt for prosjektet en «som utført» modul hvor sikring kunne dokumenteres rett på nettbrett i tunnel.

Bildene er tatt av Bever Control sin geologiske kartleggingsapp «Bever Mapping» (Svendsen, 2020). Hele tunnelmodellen er tilgjengelig og man kan legge til flere lag av informasjon som MWD (Monitorering av boredata), Kartlegging og sikring.

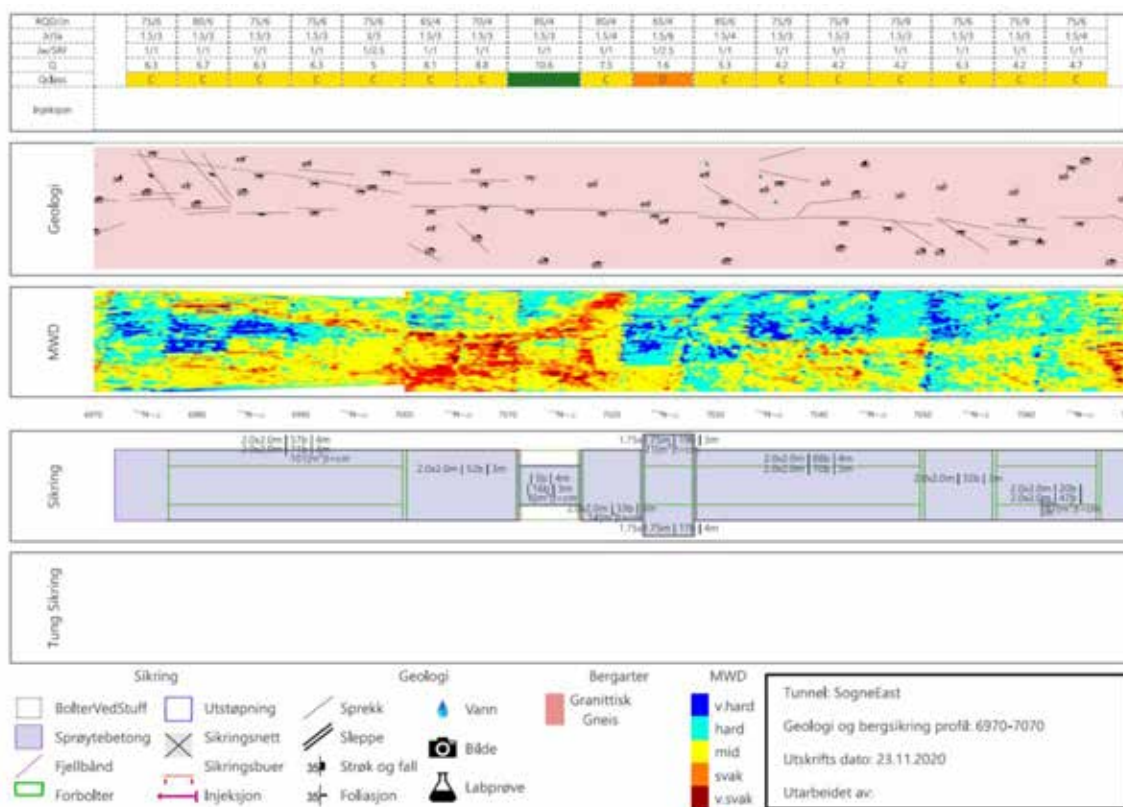
Dette har gitt en unik visning og kan gjøre det enklere å orientere seg i tunnelen når man er ved stuff, og når man sitter på kontoret, for å få oversikt over sprekkesystemer og svakhetssoner.



Figur 8 Bever Mapping app - Bever Control AS

Bildet over er tatt av arbeidsområdet hvor man kan se på flere kartlegginger samtidig og velge mellom diverse lag.

Bildet under viser informasjonen i «som utført» rapporten.



Figur 9 Bever Mapping app - Bever Control AS

OPPSUMMERING

Det er dermed mange aspekter for E39KM som er interessant med tanke på digitalisering og spesielt BIM. Likevel er innsynsløsning, som inngangsportal til alt av informasjon i prosjektet, noe av det viktigste å trekke frem. Innsynsløsningen er en del av en plattform for muliggjør digital informasjonsflyt gjennom bygging, som forener GIS og BIM, og åpner for integrasjon med forvaltning, drift og vedlikeholdsløsninger.

Under er noen av de sentrale målingene som er utført listet opp.

- Antall tegninger produsert – 95% reduksjon sammenlignet med et tradisjonelt prosjekt
- Modeller levert i tide til anlegget gjennom bruk av blant annet MMI
- Robotisert data tilsvarende et årsverk i prosjektering
- Redusert betongmengde i byggefasen – CO₂
- Automatisert designoppdateringer (modeller) når det skjer endringer – 70 % + av alle modeller

REFERANSER

Karlsen (2020): Utdrag fra Digitalt veikart 2.0. https://www.bnl.no/siteassets/bilder/generelle-bilder/digitaltveikart_2020.pdf

Nye Veier (2020): Oversikt E39 prosjektet. <https://www.nyeveier.no/prosjekter/e39-sorvest/e39-kristiansand-vest-mandal-ost/>

Svendsen (2020): Oversendt materiale fra Bever Control. Mer info her: https://www.bevercontrol.com/uploads/ObrTYbkC/_1803_geological_mapping_tool_en_2p.pdf

ERFARINGER ETTER TRE ÅR MED ELEKTRONISKE TENNERE I NORSKE TUNNELER

EXPERIENCES AFTER THREE YEARS OF ELECTRONIC BLASTING SYSTEMS IN REGULAR USE IN NORWEGIAN TUNNELS.

Espen Hugaas, Teknisk Service, Orica Norway AS
Torodd Kolbergstrud, Teknisk Service, Orica Norway AS

SAMMENDRAG:

Elektroniske tennsystemer har vært i regulær bruk på tunnelprosjekter i Norge siden våren 2017. Til sammen over 900 000 elektroniske tennere er brukt fram til og med høsten 2020. Erfaringene som er gjort på disse tre og et halvt årene samsvarer i stor grad med resultater fra mindre forsøksserier som er gjennomført tidligere fra 1990-tallet frem til siste halvdel av 2010-tallet. Man kan også se på data fra dagligdags bruk av elektroniske tennsystemer for å analysere den faktiske tidsbruken knyttet til bruken på stoff. I tillegg gir den utstrakte bruken også et bedre bilde på potensielle feilkilder og årsaker til forsagere.

SUMMARY:

Electronic blasting systems have been in use regularly on tunnel projects in Norway since the spring of 2017. In total, more than 900 000 electronic detonators have been used up until the autumn of 2020. The experience that have been made over these last three and a half years corresponds to what limited trials in the years prior showed. However, the extensive use and increased volumes now enables us to analyze more thoroughly the work process and time used in the field and we can also get a better overview of potential sources of errors and misfires.

INNLEDNING

Våren 2017 startet det første tunnelprosjektet i Norge der byggherre hadde beskrevet og pålagt bruk av elektroniske tennere på alt sprengningsarbeid. Siden den gang har til sammen elleve tunnelanlegg valgt å ta i bruk denne typen tennsystemer. Disse omfatter både anlegg der det er et direkte byggherrekrav, anlegg som indirekte krever det (utelukker andre tennsystemer) og anlegg der utførende entreprenør velger å ta i bruk tennsystemet selv. De tunnelanlegg der elektroniske tennere er tatt i bruk har ulike motivasjoner for å gjøre dette.

BAKGRUNN

I det norske tunnelmarkedet har ikke-elektriske tennsystemer vært enerådende i omtrent 30 år. Ikke-elektriske tennere fungerer kun ved hjelp av pyroteknikk, både til initiering og styring av tidsforsinkelse og er derfor ikke følsomme for elektriske tennkilder. Da de ble lansert medførte dette en betydelig bedring av sikkerheten på stoff sammenlignet med elektriske tennsystemer *Hauknes, (2017)*. En bakside er riktignok at man ikke har noen mulighet til å måle tennene i salven for å kontrollere at samtlige er koblet med. Selv om man har mulighet til å kombinere tennere med overflateforsinkere har man allikevel en begrenset fleksibilitet som er gitt av antallet tilgjengelige forsinkerintervaller. På en tunnelstøff er det ikke ønskelig med et stort antall overflateforsinkere fordi det representerer en viss risiko for splintskader på slanger/tennerledninger, som igjen vil kunne føre til forsagere.

Elektroniske tennsystemer har vært benyttet i spesielle tunnelsprengningsprosjekter de siste 20 år, men lengre tid til kobling og høy pris har ført til at de ikke har fått noen utbredelse *Hauknes, (2017)*. Fra 1990-tallet fram til slutten av 2010-tallet ble det gjort flere større og mindre

forsøksserier der potensielle fordeler og ulemper ble belyst. *Hugaas (2017)*. Som ikke-elektriske tennere har de elektroniske tennene en svært høy sikkerhet mot elektriske tennkilder. Forsinkertiden styres av en dataenhet (chip) i stedet for et pyroteknisk element. Elektroniske tennsystemers virkemåte er nærmere beskrevet i NFF teknisk rapport nr. *Hauknes (2019)* og andre kilder *Hauknes (2017)*, og *Hugaas, Rømcke, Olsen (2014)*. Denne artikkel vil ikke gjenta dette. Siden våren 2017 er det solgt og brukt over 900 000 elektroniske tennere i det norske tunnelmarkedet. I denne artikkelen vil det bli presentert generelle erfaringer og observasjoner Orica som leverandør har gjort.

UTBREDELSE AV ELEKTRONISKE TENNSYSTEMER UNDER JORD

De siste tre og et halvt årene har til sammen minst elleve tunnelanlegg tatt i bruk elektroniske tennsystemer på hele eller større deler av sprengningsarbeidet under jorden. I tillegg har minst fire anlegg tatt tennene i bruk på en begrenset del av sprengningsarbeidet, for eksempel ved strenge restriksjoner på tillat vibrasjonsnivå.

Våren 2017 startet det første tunnelprosjektet der byggherren beskrev og stilte krav til bruk av elektroniske tennere på alt sprengningsarbeid. Dette var Statens Vegvesens prosjekt FV17 Liafjellet. Bakgrunnen for kravet her var at steinmassene skulle tippes i sjøen og brukes i veifyllingen. Det var ønskelig å minimere andelen flytende plast i vannet. På dette prosjektet ble det også gjort en undersøkelse av plastutslippet fra tunnelmassene i sjøen utenfor. *Hauknes, (2019)* Dette, om enn begrensede, arbeidet bekreftet antagelsene om at plastmengdene som ble spredd ut fra fyllingen under vann gikk ned ved å bruke elektroniske tennere fremfor ikke-elektriske *Hauknes, (2019)*.

Høsten samme år startet Nye Veiers prosjekt Kjørholt og Bamble tunneler på E18 i Telemark. Også her skulle elektroniske tennere benyttes. På grunn av utfordrende forhold på stedet, som ga utslag i gjentatte problemer med brudd i tenneledninger og kortslutninger ble det etter ca. 1 km drevet tunnel gått over til å drive videre med ikke-elektriske tennere. Problemene her skyldes i stor grad produktsvakheter under de gitte forholdene. Leverandøren har etter det gjort endringer på produktet for å unngå dette på fremtidige prosjekter. Det ble heller ikke gjort forsøk med andre elektroniske tennsystemer for å se om de kunne ha tålt forholdene bedre.

I 2018 ble flere prosjekter med elektroniske tennere startet opp, blant annet Skarpsnotunnelen på E6 i Hedmark (nå Innlandet), E39 Rogfast Sidetunnel og Leikanger kraftverk i Sogn og Fjordane (nå Vestland)

I 2019 startet flere større prosjekter opp. Blant disse finner vi: D12 Bybanen Bergen, Nordøyveien, E39 Kristiansand-Mandal og jernbanetunnelen på UDK01 i Drammen.

TILBAKEMELDINGER

I NFF teknisk rapport nr. 19 NFF 2019 er det gjort en sammenstilling av både positive og negative erfaringer som er gjort frem til midten av 2018. Grunnlaget her er både tidligere testforsøk og erfaringer gjort på anleggene i drift fram til da. Generelt går de positive erfaringene på bedre luftkvalitet etter sprengning, bedre kvalitet på gjenstående kontur, økt lastbarhet, mindre pigging og færre omskytinger. Av negative erfaringer er det ekstra produktpris, tidsbruk og tennsystemets robusthet som går igjen *Hauknes, (2019)*. Det må bemerkes at det er kun på begrensede testserier det er gjort direkte sammenligninger mellom ikke-elektriske og elektroniske tennere. For anleggene som har tatt elektroniske tennere i bruk på alt sprengningsarbeid er det tilbakemeldinger fra drivere og anleggsledere som danner grunnlag for evalueringene.

Erfaringene som er gjort i løpet av 2019 og 2020 er i stor grad i overensstemmelse med det som er gjort tidligere. Av de positive erfaringene er det spesielt konturkvalitet og omfang på omskytinger som går igjen også nå.



Figur 1 Kontur etter salve i skiftende berg. Foto: Torodd Kolbergsrud

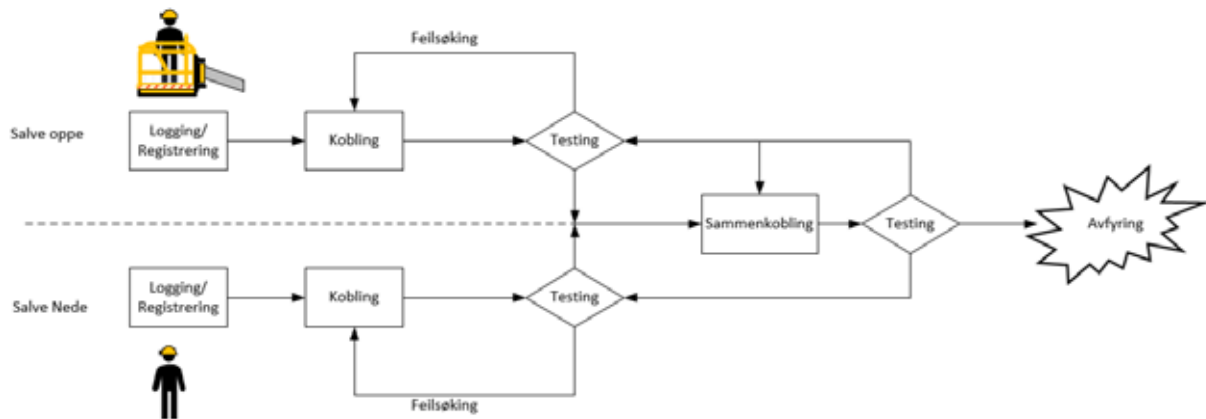
Av de negative erfaringene blir den ekstra tidsbruken nå tillagt mindre betydning av brukerne. Med den økte bruken har det også dukket opp flere forsagere med elektroniske tennere. Dette er nærmere beskrevet i eget avsnitt.

ARBEIDSOPERASJONEN – TIDSBRUK.

NFFs tekniske rapport fra 2019 gir en nærmere innføring i bruken av elektroniske tennere *Hauknes, (2019)*. De ulike tennsystemene varierer, men generelt kan man dele operasjonen inn i fem steg:

1. Tennere registreres med en loggeenhet
2. Tennere kobles sammen på en busskabel
3. Tennkretsen testes med dedikert testutstyr
4. (Feilsøking + retting)
5. Tennkretsen kobles til dedikert skyteapparat og settes av.

For å effektivisere bruken på stuff og for å tilpasse resten av ladeoperasjonen, er det naturlig at tennene i salve oppe registreres, kobles og testes av samme person med en egen registrerings/testenhet fra en arbeidskorg, og at salve nede på tilsvarende måte håndteres av én person/enhet. De to salvedelene kobles sammen før man forlater stuffen. Registreringene lastes inn på samme skyteapparat som dermed synkroniserer forsinkertidene.



Figur 2 Flytskjema over arbeidsprosessene knyttet til bruk av elektroniske tennsystemer i tunnel

I prinsippet kan man utelate testing og håpe at det ikke er noen feil på salven når man skal trekke den av. Man kan også velge å se bort fra feil og likevel trekke av salven.

De to vanligste feilene som oppstår er enten at man ikke oppnår kontakt med tenner, eller så oppdager systemet at det er koblet inn tennere som ikke er registrerte og som derfor ikke har fått tildelt forsinkertid. Skyteapparatet kan stilles inn til å akseptere at man trekker av en salve med feil, noe som betyr at man med stor sannsynlighet har produsert en forsager. For tennere som ikke har fått tildelt forsinkertid, vil systemet, om det overstyres, tildele disse en forsinkertid etter resten av salven. Dette kan høres ut som en ekstra sikkerhet, men man vil ikke kunne vite hvor denne eller disse tennene befinner seg i salven. Hvis man i verste fall har en slik tenner plassert i åpningshullet i kutten, vil det kunne ha en svært negativ innvirkning på det endelige salveresultatet. En tenner som står midt i salven vil da også mest sannsynlig være dratt ut fra hullet sitt og få hard medfart før den eventuelt går av til slutt. Ekstra tidsbruk på stuff er avhengig av hvor systematisk arbeidet her gjøres.

Man er avhengig av kablet forbindelse fra avfyringssted til salven, siden man både skal kommunisere med og gi strøm til tennere. Man kan velge å bruke busskabelen (som tennene er koblet inn på) til denne forbindelsen, men det er mer rasjonelt å bruke et opplegg med en permanent skytekabel som henges opp og forlenges med tunnelen innover. Dette i seg selv er positivt sikkerhetsmessig i forhold til ikke-elektriske tennere som ofte tennes opp med en svartkruttlunte påsatt en fenghetten. Man er avhengig av at skytekabelen beskyttes og skjøter sikres for å forhindre at forbindelsen med stuff forstyrres.

FORSAGERE

Det kan være fristende å trekke slutningen at et målbart tennsystem vil eliminere alle tilfeller av gjenstående tennere og forsagere knyttet til dette. Når man omtaler testing og feil som oppdages i disse testene, så er det jo ikke produktfeil, men heller feilkoblinger og brudd på ledninger som har oppstått i ladeprosessen. Systemet hindrer med andre ord slike tennere å bli til forsagere. Allikevel vil tennere kunne svikte og stå igjen etter salven som forsagere. Det er rapportert inn fra flere steder at tennere er funnet når salven lastes ut. Disse er ofte deformerte og bærer preg av å ha blitt utsatt for store ytre krefter. Når en tenner blir utsatt for en dynamisk trykkpåkjenning fra detonasjoner i omkringliggende hull kan den under gitte forhold bli påvirket i så stor grad at den ikke går av. Dette kaller man at tenner er dødpresset. Dette kan skje uavhengig av type tenner, og vanligvis er tenneren ødelagt/deformert etterpå. Der det er tette bormønstre, oppsprukket fjell, vannmettede sprekkesystemer og/eller boravvik øker sannsynligheten for at dette skal inntreffe. Basert på innrapporterte forsagere kan det tyde på at elektroniske tennere er mer utsatt for dette enn ikke-elektriske. Orica er i gang med et prosjekt der vi datamodellerer trykkpåkjenninger på

borhull i tunnelsalver og simulerer ulike scenarioer knyttet til det. Sammen med innsamlet dokumentasjon fra salver har man indentifisert hull i kuttområdet og ligg til å ha størst risiko for at dette skal skje. Man kan dermed gjøre tiltak i disse områdene for å redusere sannsynligheten for forsagere her. Det er riktignok ikke gjort noen nærmere undersøkelser og sammenligning av forsagere på ikke-elektriske salver med forsagere på elektroniske salver.

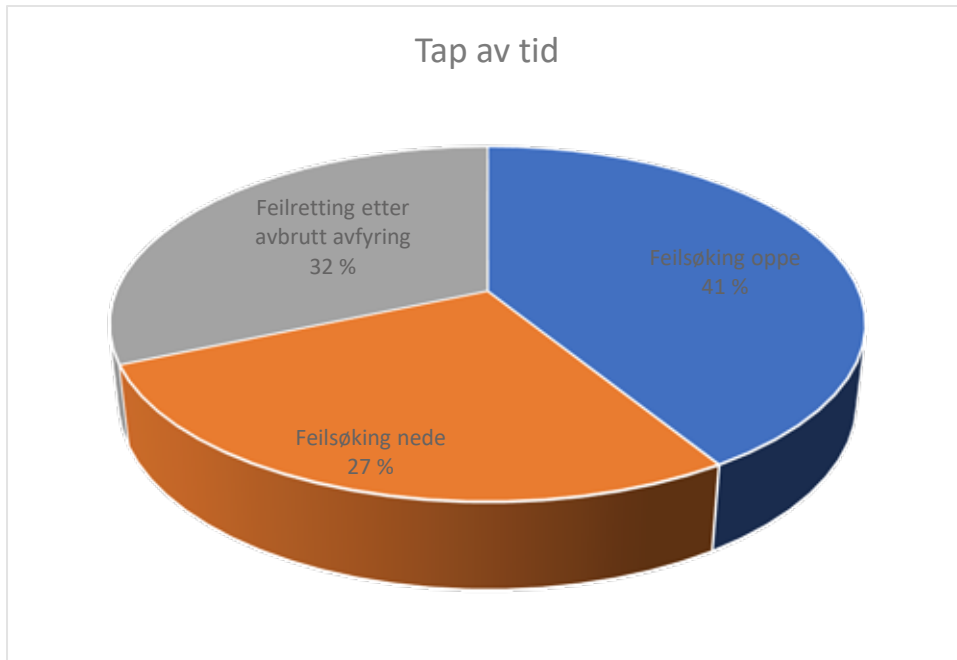
ANALYSER AV TIDSBRUK PÅ STUFF OG TIL FEILSØKING

Som nevnt i avsnittet om tilbakemeldinger, er økt tidsbruk noe som trekkes frem som en negativ effekt av å bruke elektroniske tennere. Forsøk som ble gjort i Ønnsåstunnelen i 2014 viste at tidsbruken til kobling av elektroniske tennere gikk noe opp ved bruk av elektroniske tennsystemer. Dette så ut til å bli tatt igjen i andre deler av arbeidssyklusen i form av redusert piggetid og lettere utlasting *Hugaas, Rømcke, Olsen (2014)*. Ved systematisk og rasjonell planlegging og gjennomføring av koblingsarbeidet på stuff er den ekstra tiden som går med her liten i forhold til når man bruker ikke-elektriske tennere. Man vet riktignok at ved feil vil feilsøking og retting av feilene i noen tilfeller ta svært lang tid. Dette er vanskelig å avdekke under tester/forsøkssalver.

Hver gang man tester, overfører og skyter en salve logges resultatet, samt tidspunktet for dette i utstyret som benyttes. Ved å analysere denne informasjonen kan man danne seg et bilde av hvor lang tid som er brukt på feilsøking og hvor lang forsinkelse man får om man mister forbindelse med salven og må gjenetablere den etter å ha avbrutt en avfiring. Orica har analysert slik informasjon for å kunne tallfeste ekstra tidsbruk.

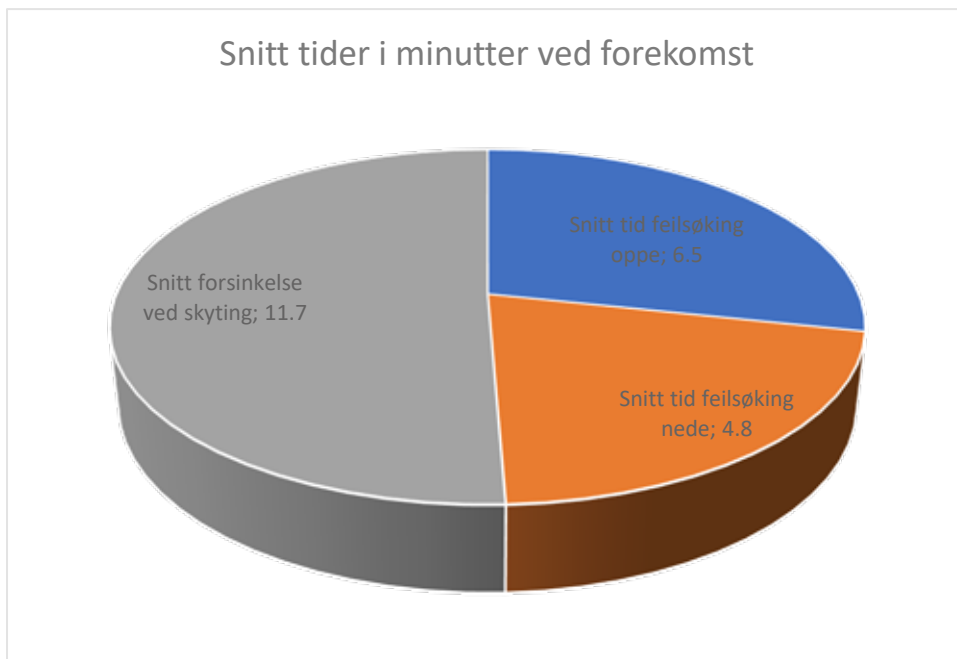
For å gjøre denne litt forenklede analysen, er tidspunktene for tester og resultatene av dem brukt for å anslå tid brukt på feilsøking og retting. For eksempel: En test viser klokken 12:00 at det er to feil i salven. En ny test gjort klokken 12:05 viser at den ene feilen er borte og at det er en feil igjen. En tredje test klokken 12.12 viser at alle tennere er OK og at det er ingen feil. Ut fra dette kan man slutte at den totale tiden som er tapt til feilsøking er 12 minutter. Tilsvarende kan man se på tidspunktet for en avbrutt avfiring (der man også kan se om det er feil på tennkretsen) og sammenligne det med tidspunktet for en faktisk avfiring. Tidsdifferansen kan man anta går med til feilretting på skytekabel eller koblinger. I tallene som presenteres her har vi kun analysert dokumentasjonen som er generert av utstyret.

Til sammen er det analysert data fra 111 salver fordelt på 5 stuffer på 2 forskjellige anlegg. Dette tilsvarer 14247 tennere. Det er ca. 30% av det månedlige forbruket i markedet pr. høsten 2020. Av de 111 salvene er det avdekket feil ved testing på stuff på 25 av disse. 12 salver har blitt avbrutt ved avfiring på grunn av feil. Tid til feilsøking varierer fra tilfelle til tilfelle, men i sum tilsvarer det totalt 444 minutter tapt på disse 111 salvene. Fordelingen av tapt tid på grunn av feilsøking er vist i figur 3. Merk at feilsøking oppe og feilsøking nede i noen tilfeller kan oppstå samtidig slik at salveforsinkelsen ikke nødvendigvis tilsvarer summen av disse.



Figur 3 Prosentvis fordeling av tid tapt.

Selv om den totale tapte tiden på disse 111 salvene tilsvarer fire minutter i gjennomsnitt per salve, så er det mer interessant å se på hvor mye tid som tapes i de tilfellene feil faktisk oppstår. Figur 4 viser gjennomsnittlige tider i minutt til feilsøking og feilretting når feil oppstår.



Figur 4 Gjennomsnittlige tider i minutter når feil faktisk oppstår.

En forsinkelse utløst av feil som blir oppdaget ved avfyring vil naturlig nok ta lengre tid å lokalisere enn om det gjøres på stoff. Dette er fordi man først ta seg inn til stoffen før man kan starte feilsøkingen.

RASJONALISERING AV ARBEIDET

Tunneldrivere velger selv hvordan arbeidet på stoff legges opp. Flere steder har det blitt lagt opp til at personen som lader den øvre delen av salven fra korg, skanner tenneren rett før den settes i hullet og det lades. Når hullene er ferdig ladede, gjenstår kun kobling og testing. Eventuell feilsøking blir gjort før korgen kjøres ned og arbeidet her avsluttes. Det er en stor fordel å lokalisere og eliminere feil på stoff mens borerigg/laderigg med korg er tilstede.

KONKLUSJON

For en leverandør vil fokus i all hovedsak være de produktene som leveres og at de fungerer som de skal. Når nye produkter tas i bruk i markedet er naturligvis mye av ressursene satt inn på opplæring og praktisk bruk. Det kan derfor være vanskelig å samtidig skulle dokumentere brukernes gevinst av å ta i bruk selve produktet. Sprengningsarbeid er i stor grad et fagarbeid der erfaring og evaluering av resultater spiller en sentral rolle. Et fleksibelt tennsystem gjør bergsprengere mer fleksible når det kommer til å gjøre sprengningstekniske endringer. Selv om det finnes en rekke direkte positive effekter på salveresultater så er det en omfattende jobb å sette disse opp mot kostnader og få ut den økonomiske gevinsten.

Det ligger også sikkerhetsmessige gevinster i å bruke elektroniske tennsystemer fremfor ikke-elektriske. Blant annet kan man fjerne svartkruttlunte til opptenning, målbarheten reduserer sjansen for at tennere glemmes når de skal kobles inn og omfanget på omskytinger reduseres. I tillegg oppgir mange brukere at de får jevnere kontur som kan tyde på redusert skade på gjenstående berg. Hva disse tingene er verdt vil det være opp til brukere og byggherrer å avgjøre.

Elektroniske tennsystemer vil ikke være løsningen på alle sprengningstekniske utfordringer, men erfaringene som er gjort viser at det alltid bør vurderes som et verktøy for å optimalisere sprengningsprosessen, også på underjordsarbeid.

KILDER

Hugaas E., Rømcke O. og Olsen, V (2014) «Sprengningstekniske forsøk – UFP05 Skillingsmyr Entreprensen, Vestfoldbanen», NFF, Fjellsprengningsdagen 2014

Hauknes, I. (2017) «INGENIØRGEOLOGI FOR BYGGE- OG ANLEGGsledere I UNDERJORDSARBEIDER 11) Sprengningsteknikk Boring, sprengning, konturkvalitet og vibrasjoner», NTNU/NFF, revisjon av Arve Fauskes kompendium fra 2008.

Hauknes, I., NFF (2019) «Teknisk Rapport nr. 19 Elektroniske tennere i tunnel», Norsk forening for fjellsprengningsteknikk 2019

Hugaas E. (2017) «Elektroniske tennere i Norske tunneler – Fra forsøkssalver til daglig drift» NFF, Fjellsprengningsdagen 2017

TBM-KAKS – KARAKTERISERING OG POTENSIALE FOR NYTTIGGJØRING, PÅ LAND OG I SJØ

Jenny Langford, Gunvor Baardvik og Espen Eek, NGI
Marianne Dahl, Statens vegvesen
Fredrikke Syversen, Ingjerd Mørck og Leon Eide, Oslo kommune VAV

SAMMENDRAG

Kornfordelingsanalyser på TBM-kaks viser at materialet kan karakteriseres som en velgradert, siltig, sandig grus. Til tross for dette ansees TBM-massen ofte som lite brukbar. I forskningsprosjektet GEORCIRC er mulighetene for nyttiggjøring av TBM-kaks vurdert, ved innhenting og sammenstilling av data fra gjennomførte prosjekter. I forbindelse med driving av Follobanen er det lagt ut en fylling ved Åsland for å etablere byggegrunn for ny bydel Gjersrud-Stensrud. Fyllingen er lagt ut lagvis og komprimert med normal komprimeringsenergi. Dokumentasjon viser at det er oppnådd høy tørrdensitet og tilsvarende lav porøsitet. Dette tilsier at det er oppnådd en fylling med stor stivhet og lavt potensial for setninger. Det er konkludert at det ved lagvis utlegging og normal komprimering kan etableres en kvalitetsfylling med TBM-kaks.

Det er i tillegg utført laboratorieforsøk for å vurdere hvordan TBM-massen kan oppføre seg ved utfylling i sjø, spesielt med hensyn til spredning av finstoff (turbiditet). TBM-kakset som er testet inneholder i størrelsesorden ti ganger mer finstoff enn sprengt stein. Forsøkene viser at turbiditeten er svært avhengig av vannets saltinnhold og finstoff holder seg lengre suspendert i ferskvann enn i saltvann. Men, forsøkene viser også at det er liten forskjell i turbiditeten fra TBM-kaks og sprengt tunnelstein i normalt sjøvann.

Det er konkludert med at TBM-kaks er godt egnet som fyllmasse på land. Forsøkene i laboratorium indikerer også at det kan være mulig å fylle denne type masse i sjø. Her må lokale forhold som vannets strømningshastighet, saltinnhold og fremtidig bruk av utfylt areal vurderes spesifikt.

SUMMARY

Grain size distribution analyses show that TBM-spoil is characterized as a well-graded, silty, sandy gravel. Despite of this, TBM-spoil is often considered of little value for re-use. In the research project GEORCIRC, the utilization of TBM-spoil as a fill material has been evaluated, based on testing and data collection from executed projects.

The material from tunnel construction of the Follo-line has been used to establish a fill at Åsland, for the new community Gjersrud-Stensrud. The fill is built up in layers, which are compacted with normal compaction energy. Documentation of the fill shows that the resulting dry density is high, which implies that it has a low porosity and high stiffness. The results demonstrate that it is possible to establish a high-quality fill with the TBM spoil in this way.

In addition, laboratory tests have been used to investigate the behaviour of TBM-spoil, for establishing underwater fills (land reclamation), with a focus on the suspension of particles in the water (turbidity). The TBM-spoil contains approximately ten times more fines than blasted rock. The tests show that the turbidity is strongly affected by the salt contents of the water, where fines remain suspended for a longer time in fresh water than in salt water. The tests demonstrate that there is subsequently little difference in the turbidity between TBM-spoil and blasted rock in salt water.

It is concluded that TBM-spoil is well-suited for establishing fills on land. Laboratory tests also indicate that it is possible to use TBM-spoil underwater for land reclamation. Local conditions such as the current, salt content and planned use of the reclaimed land needs to be considered.

INTRODUKSJON OG BAKGRUNN

I Norge ble flertallet av tilløpstunneler for vannkraftanlegg drevet med tunnelbormaskin (TBM) på 80-tallet. I disse prosjektene har overskuddsmassene fremfor alt blitt deponert på tipper i tilknytting til prosjektene. En grunn til dette kan være at mange TBM-prosjekter ble utført i områder med lite etterspørsel av steinmasser og det som er gjenbrukt er ofte brukt lokalt på anleggene.

Overskuddsmassen som genereres ved driving med TBM har en mindre gunstig kornfordeling sammenlignet med sprengsteinsmasse fra samme bergart. Muligheter for nyttiggjøring av massen må vurderes i forhold til materialets tekniske egenskaper. Det er imidlertid vår oppfatning at det nesten er blitt en myte om at TBM-kaks er en ubrukbar masse og at:

- Massen er forurensset og kan derfor ikke brukes
- Massen har dårlige geotekniske egenskaper og er ikke brukbar

I bygge- og anleggsprosjekter stilles det nå høye krav til sirkulærøkonomi og reduksjon i klimagassutslipp. Jord- og bergmateriale er en begrenset ressurs som må tas vare på. I tillegg er det dårlig utnyttelse å fylle opp godkjente deponier med masser som har et mulig bruksformål. Til sist så medfører utkjøring av masser til deponi og innkjøp av masser fra steinbrudd/deponi store CO₂-utslipp knyttet til transport. Bedre utnyttelse av ulike typer overskuddsmasse har vært bakgrunnen for forskningsprosjektet GEOreCIRC som ble gjennomført ved NGI 2016-2018. I dette prosjektet har nyttiggjøring av TBM-kaks som fyllingsmateriale blitt vurdert. I prosjektet er det innhentet og sammenstilt data fra utførte prosjekter. I forbindelse med planlegging og gjennomføring av større infrastrukturprosjekter med TBM som drivemetode er det viktig at man planlegger for god utnyttelse av overskuddsmasser.

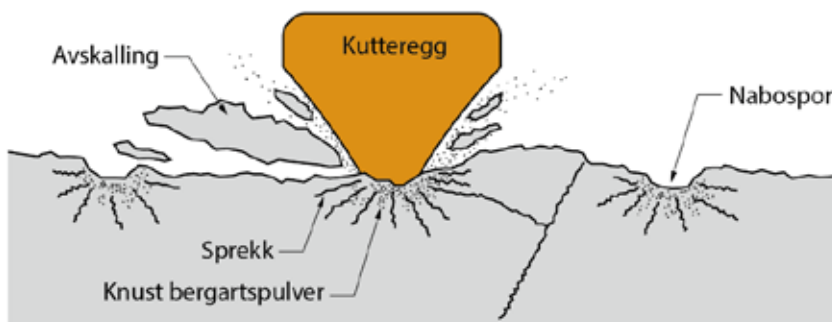
Miljøgevinstene ved å gjenbruke masse fra TBM-driving vil være betydelige, ettersom tunnelprosjektene vanligvis er store i omfang og derfor genererer enorme mengder overskuddsmasse.

DRIVEMETODE

Med en tunnelboremaskin tas berg ut i hele tunnelprofilen ved roterende stålkuttere som er montert på borhodet på TBM-maskinen (Figur 1). Borhodet roterer samtidig som TBM-maskinen trykkes fremover med et system som enten griper tak i tunnelveggene langs sidene på maskinen, eller trykker mot allerede installerte betongelementer. Massene faller ned innvendig i borhodet og fraktes ut på et transportbånd. Prinsippet for hvordan borkakset brytes ut av kutterne er vist i Figur 2.



Figur 1. TBM maskin for Follobanen (fra: www.banenor.no).



Figur 2. Prinsipp for bryting av borkaks med TBM (NVE/NTNU, 1991).

Kornfordelingen på masse tatt ut ved driving med TBM vil som nevnt være forskjellig fra masse som genereres ved tradisjonell boring og sprengning. Maksimal kornstørrelsen på massen som tas ut med TBM vil stort sett være begrenset til avstanden mellom kutterne (normalt 10-12 cm), men overstein kan forekomme. I tillegg vil drivingen resultere i en større andel finstoff enn ved driving med sprengning, samt mer flisete kornform. Eksempel på TBM-kaks som er siktet og vasket er vist i Figur 3.



Figur 3. Siktet og vasket TBM-kaks.

KARAKTERISERING AV TBM-KAKS

På 80-tallet sammenstilte NGI på oppdrag av Statkraft resultater av undersøkelser utført på TBM-masse fra norske bergarter, for å karakterisere massen. Rapporten er basert på prøver fra 11 prosjekter fra tunneler boret i forbindelse med vannkraftutbygging (Statkraft, 1986). Prøvene representerer ulike bergartstyper og det er boret med TBM-maskiner med ulike tverrsnittsstørrelse og fabrikat. I samtlige prosjekter var det brukt TBM-maskiner med disk-kuttere som opererte med høy matekraft.

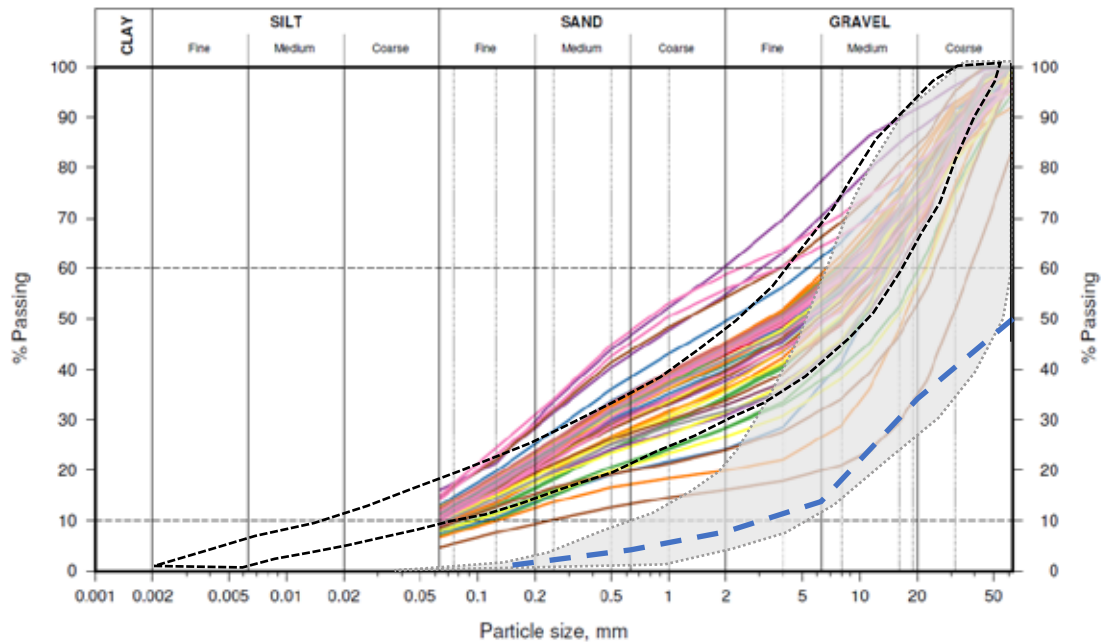
I forbindelse med Bane NORs utbygging av Follobanen er det boret med fire TBM-maskiner i gneiss. Massene er fylt opp ved riggområdet på Åsland, for å etablere byggegrunn for ny bydel Gjersrud-Stensrud. I dette prosjektet er det utført omfattende laboratorie- og feltforsøk, som er dokumentert i en masteroppgave fra NTNU (Dahl, 2018).

Kornfordelingsanalyser

Kornfordelingsanalyser fra alle prosjektene er sammenstilt i Figur 4. Fargede kurver er kornfordelingsanalyser gjennomført for masser fra Follobanen. Omriss med tykke, stiplede linjer viser grense på kornfordeling fra øvrige TBM-prosjekter (Statkraft, 1986). Til sammenligning er det vist typisk kornfordelingskurve-område for sprengstein fra dagbrudd med lysegrå skravur (ITA, 2019).

TBM-massene karakteriseres som sandig, (siltig) grus. Største kornstørrelse er begrenset til ca. 7-8 cm, med mulighet for noen større enkeltsteiner, og bestemmes av avstanden mellom disk-kutterne på maskinen. Ca. 50-70% av materialet er i grusfraksjonen. Målt finstoffinnhold (kornstørrelse < 0,06 mm) fra prøvene varierer mellom ca. 5-18%. I alt viser kornfordelingskurvene på TBM-massene begrenset med variasjon. Det kan antas at det vil være noe variasjon knyttet til bergart, men at kornfordelingen fremfor alt styres av selve drivemetoden.

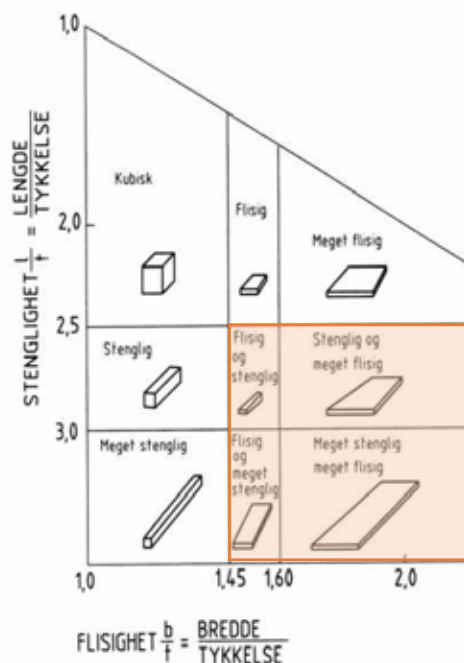
Graderingstallet $C_u = d_{60}/d_{10} > 15$ for samtlige prøver og massen er å anse som velgradert.



Figur 4. Kornfordelingskurver fra TBM ved Follobanen, gneiss (Dahl, 2018) og stiplet sort linje som viser grensekurver fra andre TBM-prosjekter (Statkraft, 1986). Grå skravur viser kornfordeling for sprengstein (ITA, 2019). Blå stiplet kurve er siktet sprengt tunnelstein (gneiss) fra Akershusstranda (se Figur 15).

Kornform

Kornformen på materialet baseres på målt bredde, lengde og tykkelse for enkeltkorn og klassifiseres i henhold til stenglighet og flisighet i Figur 5. TBM-materiale har en stenglig og flisig form og de fleste prøvene havner innenfor omrisset som er markert med rødt i figuren (Statnett, 1986). Kornformen er styrt av måten diskutterne bryter ut borkaks fra berget. Se også Figur 3 som godt illustrerer kornformen på TBM-kakset.

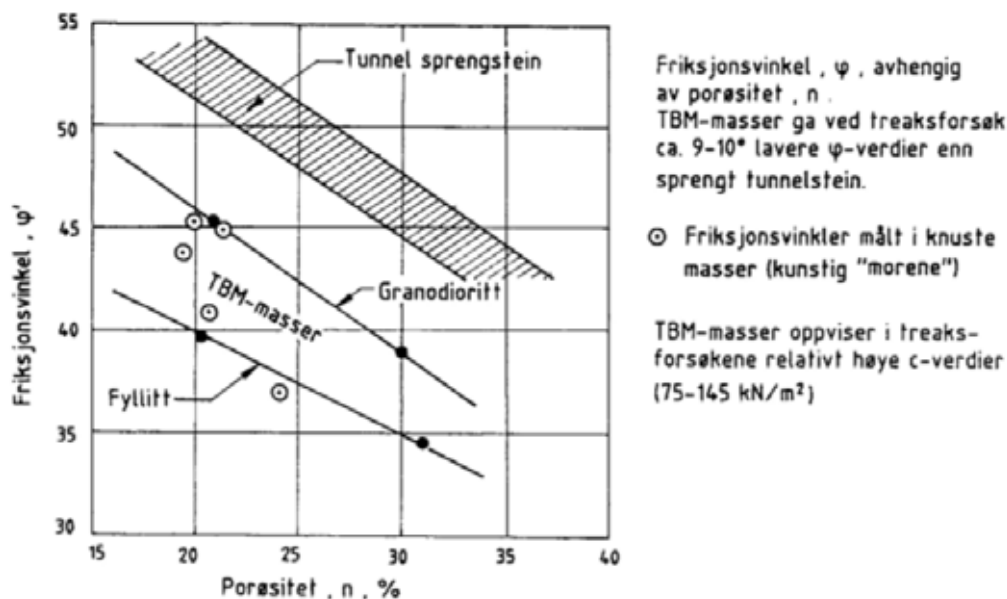


Figur 5. Kornform basert på målt bredde, lengde og tykkelse. TBM-stenen havner for det meste innenfor det røde feltet.

Skjærfasthet

Friksjonsvinkelen for TBM-kakset er bestemt ved treksialforsøk (Statkraft, 1986). Friksjonsvinkelen er målt til mellom 40-50° og tilsvarer skjærfastheten for en middels fast steinfylling, se Figur 6, med gode fundamenteringsforhold. Forsøkene viser at friksjonsvinkelen er lavere enn for sprengt tunnelstein, men den er vesentlig høyere enn friksjonsvinkelen for en naturgrus (Statens vegvesen, 2018).

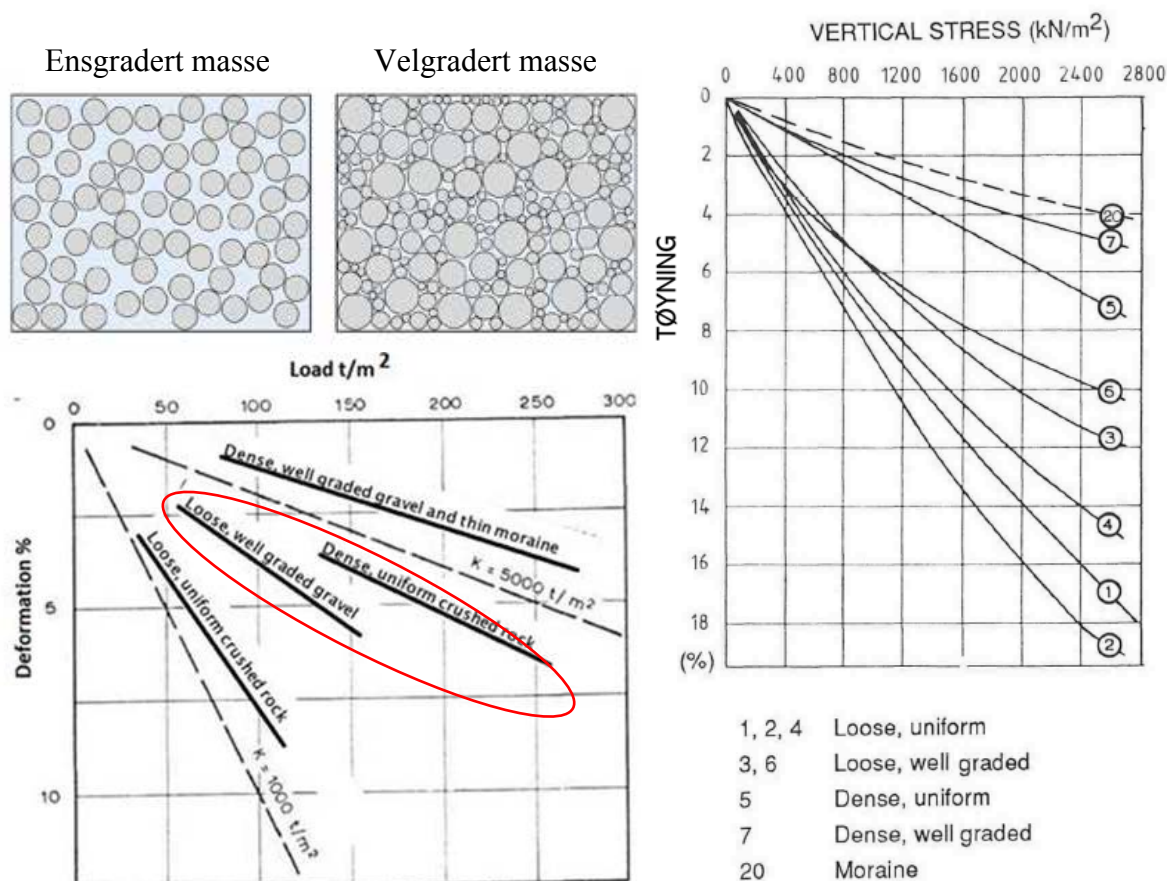
Figur 6 viser at variasjonen til friksjonsvinkelen med porøsitet (n) samsvarer med variasjonen for andre granulære masser. På masser fra Gjersrud - Stensrud er det tilbakeregnet en porøsitet etter komprimering tilsvarende 13 -23% (Bane NOR, 2018). Dette samsvarer godt med utførte forsøk i Figur 6, på porøsitet mellom 19 og 24%.



Figur 6. Friksjonsvinkel med tilhørende porøsitet fra treksialforsøk på TBM-masser (Kjærnsli, 1986).

Kompresjonsegenskaper

Setningsegenskapene for TBM-kaks er ikke blitt vurdert spesifikt tidligere. Figur 7 viser resultater av ødometerforsøk utført på ulike typer steinmasser for fyllingsdammer, med relativt høye spenningsnivåer. På NGI er det tidligere utført ødometerforsøk på ulike materialer med varierende pakningsgrad og steinsammensetning (Kjærnsli, 1968, Kjærnsli et al. 1992). Forsøkene viser kompressibilitet for velgradert grus (tilsvarende TBM-kaks) ved begrenset komprimering og fast lagret velgradert grus ved godt utført komprimering. I forsøkene er det indikert at det oppnås en høyere densitet når man komprimerer velgraderte masser enn ensgraderte masser. I de velgraderte massene fylles større andel av hulrommene med mindre korn og densiteten øker. Granulære masser med lite hulrom er som regel stivere og har lavere setningspotensiale enn masser med mye hulrom.

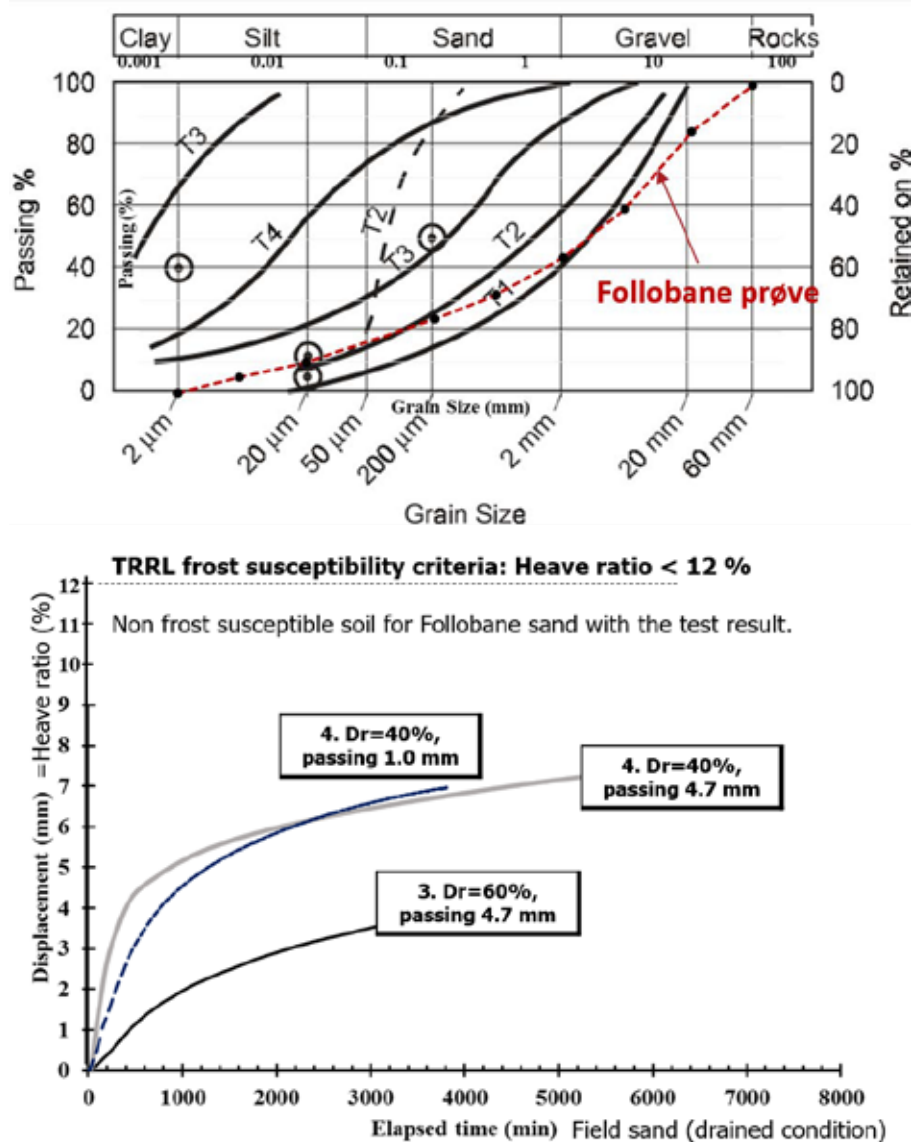


Figur 7. Figuren til høyre indikerer at løst lagrede, ensgraderte masser har større tøyning for samme last (spenning) enn løst lagrede, velgraderte masser Kjærnsli (1968). Det samme ser man for fast lagret masse. Figuren til venstre peker mot at en løst lagret, men velgradert grus, som TBM-massen kan karakteriseres som, har tøyninger i samme størrelsesorden som en godt komprimert, men ensgradert sprengstein Kjærnsli et al. (1992), se markering med rød oval.

Vannømfintlighet og telefarlighet

I Statens vegvesens Håndbok N200 betegnes materiale som vannømfintlig hvis $>7\%$ av materiale som er $< 22,4$ mm passerer 0,063 mm-siktet. TBM-kaks er i henhold til SVVs definisjon vannømfintlig. Dette tilsier at materialet ikke er fritt drenerende og vil holde på vann. Den vil ved utlegging og komprimering kunne oppleves som vannømfintlig.

I henhold til SVVs håndbok N200 vil materialet klassifiseres i telefarlighetsklasse T2 til T3 (lite til middels telefarlig). For at materialet skal få telehiv forutsettes at det finnes tilgang til fritt vann som kan suges oppover i massen og danne is-linser ved frysefronten. Det er utført fryse-tineforsøk ved NGI som viser at massen fra Follobanen ikke er telefarlig, som følge av at massen ikke har kapillærsug nok til at det skal kunne dannes is-linser, se nedre del av Figur 8.



Figur 8. Øvre del: Kornfordeling fra Follobanen plottet i diagram med eksempel på telefarlighetsklasser for ulike jordmaterialer (fra SVV, håndbok N200). Nedre del: Prøver i frostcelle på NGI viser at massene fra Follobanen likevel ikke er telefarlige, de har ikke tilstrekkelig kapillærsug.

Hydraulisk konduktivitet

Ved den komprimerte utfyllingen på Follobanen er den hydrauliske konduktiviteten tilbakeregnet fra infiltrasjonsforsøk i fire prøvesjakter i den utlagte og komprimerte fyllingen. Konduktiviteten ble vurdert i størrelsesorden 10^{-6} til 10^{-5} m/s (Dahl, 2018), hvilket tilsvarer hydraulisk konduktivitet for fraksjonen silt/sand.

Konduktiviteten er så høy at eventuell poretrykksoppbygging i en fylling vil utjevnes raskt, men materialet er ikke fritt drenerende.

Miljøanalyse av materialet

I prosjektene som er utført i Norge har det ikke vært nødvendig å tilføre tilsetningsstoffer. Bormassen fra Nye Ulriken-tunnelen og Follobanen er en grov, sandig grus og kleber ikke til utstyr, transportbelter eller tilsvarende.

Både på Follobanen og på Nye Ulriken-tunnelen er det utført kjemiske analyser av utboret bergmasse. Det er ikke påvist verdier over normale bakgrunnsverdier for bergarten det er boret i, for noen stoffer. Det ikke påvist olje eller nitrøse stoffer i TBM-massene som er analysert.

I sprengte tunneler kan man registrere nitrøse stoffer, olje og høy pH i sprengsteinen. Olje og nitrogenforbindelser kommer fra uomsatt sprengstoff, og høy pH skyldes bruk av sprøytebetong og injeksjonsmasser. Det finnes også plastrester fra tennere og koblingsledninger i sprengsteinsmasser, samt at man i prosjekter hvor det er brukt plastarmert sprøytebetong som midlertidig sikring vil få plasten fra dette blandet med sprengsteinsmassene.

ERFARINGER FRA ETABLERING AV KVALITETSFYLLING PÅ LAND - FOLLOBANEN

Ved Follobanen har Bane NOR og Oslo kommune inngått en avtale om å bruke TBM-kaks fra driving av de to 20 km lange tunnelene til utfylling, for planering av ulendt terreng. Arealet skal bli byggegrunn for ny bydel, Gjersrud-Stensrud. Det er etablert en inntil 30 m høy fylling med totalt 9 millioner tonn TBM-kaks. Det overordnede kravet er at deponering av masser skal tilrettelegge for at arealbruken som er fastsatt i reguleringsplanen kan gjennomføres, og at kvaliteten på fremtidig byggegrunn ikke blir dårligere enn den ville vært uten deponering. Krav til håndtering av massene, utlegging og komprimering er gitt i egen rapport (Bane NOR, 2013). En oversikt over fyllingen er vist i Figur 9.

For å redusere setninger i fyllingen som følge av en fremtidig pålasting er det nødvendig å legge ut TBM-massen lagvis med begrenset lagtykkelse. Valg av lagtykkelse ble bestemt på grunnlag av flere prøvefyllinger. Fyllingen er lagt ut i 0,7 m tykke lag og komprimert med seks overfarter med vibrovals på 25 tonn for hvert lag.



Figur 9. Oversiktsbilde av fylling ved Follobanen (bilde: Bane NOR).

Lagtykkelse, antall overfarter og vekt av komprimeringsverktøyet er videre sentrale faktorer som bidrar til å oppnå god komprimering. Et godt komprimert jordmateriale har høy stivhet, høy tørr densitet og lav porøsitet. Lagvis utlegging med komprimering av hvert lag utføres for å redusere fremtidige deformasjoner i massene og redusere setningspotensialet i en fylling.

Det er utført omfattende prøving under oppfyllingsarbeidet for å dokumentere kvaliteten på etablert fylling.

For å ivareta dette er massenes geotekniske egenskaper karakterisert og det er utført et omfattende kontrollregime under fyllings- og komprimeringsarbeidet. For hvert lag er det tatt prøver for bestemmelse av vanninnhold, kornfordeling og Standard Proctor. Komprimering under oppfyllingen er kontrollert ved måling av vanninnhold og tørrdensitet ved Troxler (isotopmålinger). I tillegg er det utført platebelastningsforsøk og fyllingens densitet er bestemt ved fire prøvesjakter. Data er sammenstilt i masteroppgave ved NTNU (Dahl, 2018). NGI har også utført stikkprøver på dokumentasjonen av komprimering på lagene som er kontrollert med platebelastningsforsøk og densitetsmålinger i felt (Bane NOR 2018 og 2020). Noe av resultatene er oppsummert nedenfor.

Andelen finstoff i TBM-kakset medfører at massen er vannømfintlig. Vanninnholdet på massen vil avhenge av bergets naturlige vanninnhold og driveprosessen. I tillegg vil vanninnholdet bli påvirket av eventuell nedbør i forbindelse med mellomlagring og transport. Vanninnholdet vil påvirke hvordan massen responderer på komprimering og hvilken energi som må tilføres for å få en tilstrekkelig densitet ved komprimering. På bakgrunn av dette og for å unngå at vanninnholdet var større enn det optimale vanninnholdet, ble det iverksatt overordnede tiltak for å hindre tilførsel av nedbør:

- Fyllmassen på transportbåndet og mellomlageret ble dekket med tak for å beskytte mot regn og snø (Figur 9).
- Det ble valgt å ikke legge ut masser ved nedbør, massene ble i stedet transportert ut av anlegget.

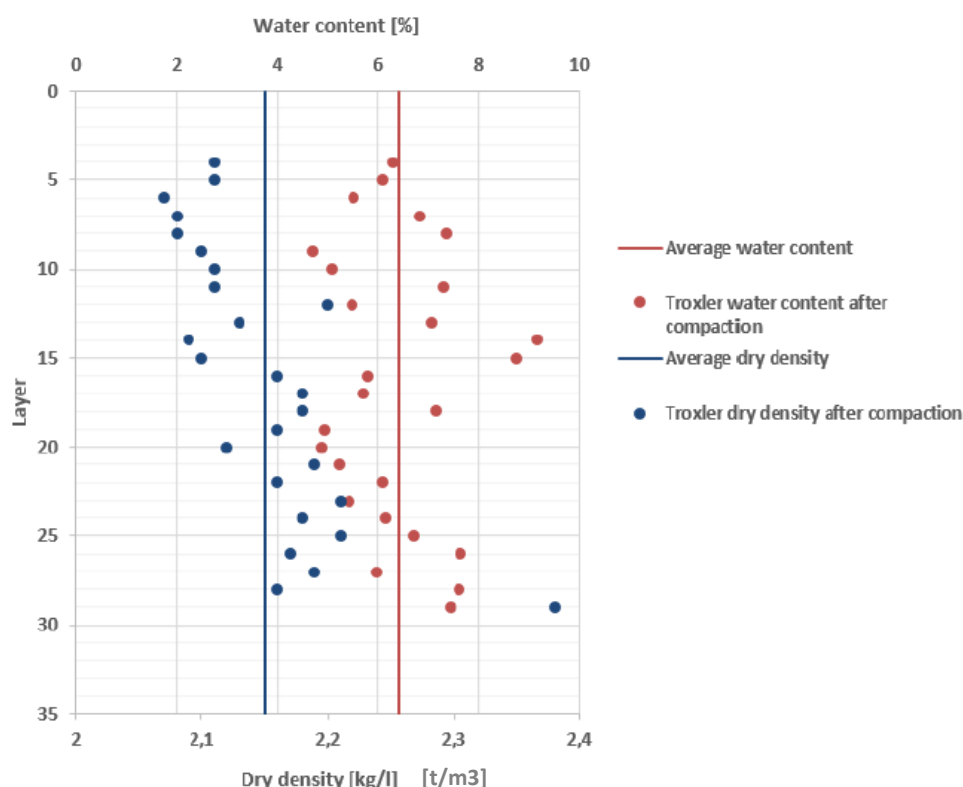


Figur 10. Oversikt over riggområdet hvor det tildekkede transportbåndet (blått) går fra tunnelmunningen ved E6 til Spoil shed lengst til høyre i bildet (bilde: Bane NOR).

Det oppnås best komprimering når massen ikke er for tørr eller for våt. Vann i små mengder fungerer som smøremiddel rundt kornene, og bidrar til en tettere pakning. Vann i store

mengder fyller porene mellom kornene og hindrer en tettere pakning. Det er derfor en optimal mengde vann i porene som gir en maksimal komprimering i masser som ikke slipper ut vann ved komprimering (ikke er fritt drenerende).

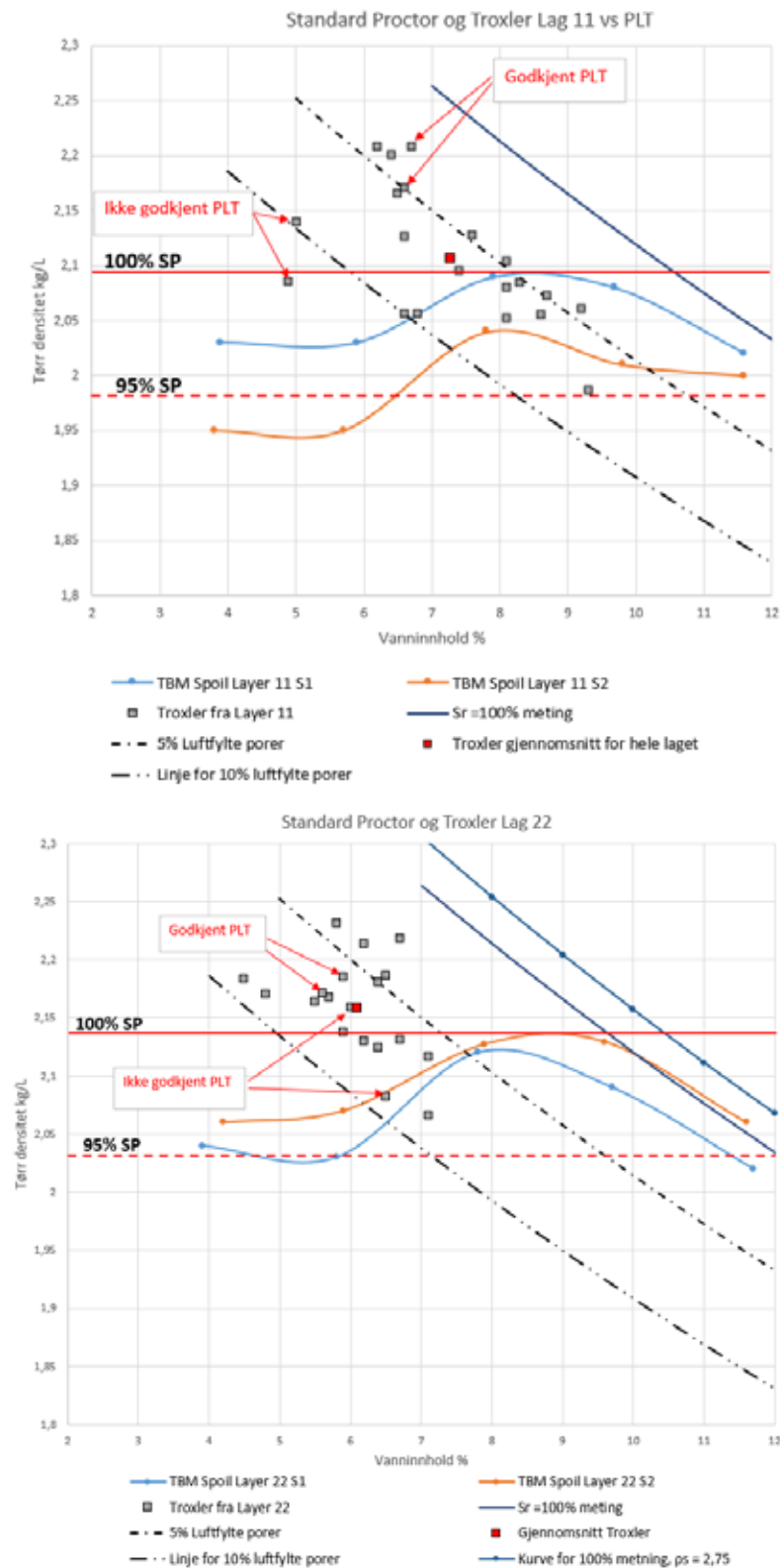
I Figur 11 er målt vanninnhold fra Troxler i de ulike lagene i fyllingen vist med røde symboler. Vanninnholdet varierer mellom 5-9%, med en middelerdi på ca. 7%. Dette er på størrelse med målt optimalt vanninnhold fra Standard Proctor på ca. 8-10%. Et vanninnhold på 7% tilsvarer en tørrdensitet i fyllingen på ca. 2,15 t/m³ (Figur 11). De utførte prøvesjaktene indikerer noe høyere tørrdensitet (ca. 2,28 t/m³) enn den som er målt med Troxler. Resultatene fra Troxler-målinger og prøvesjekter viser at fyllingen oppfyller krav til 95% komprimering av maksimal densitet i Standard Proctor.



Figur 11. Målt vanninnhold fra Troxler og tilbakeregnet tørrdensitet i ulike lag i fyllingen ved Folloanen (Dahl, 2018).

Komprimeringen skulle også verifiseres med platebelastningsforsøk (PLT). Forsøkene viste seg å ikke oppfylle oppsatte krav til oppnådd deformasjonsmodul. Grunnen til dette er vurdert å være at det ikke var brukt avrettingslag eller gips før belastning, noe som er essensielt for å sikre representative resultater og kan resultere i et 50% avvik på stivhetsmodulen (Barnard and Heymann, 2015). I tillegg er flere av platebelastningsforøkene blitt utført rett etter komprimeringsarbeidet. Da vil laget kunne være noe mykere enn ventet ettersom vanninnholdet i massen ikke har hatt tid til å drenere (TBM-massen er ikke helt fritt drenerende). Denne effekten er også dokumentert i en masteroppgave ved NTNU (Andresdattir, 2019). For å vurdere kvaliteten av komprimeringen mer nøye er resultater fra platebelastningsforsøk, Standard Proctor og Troxler for samme lag plottet i samme diagram. Eksempler fra lag 11 og 22 er vist i Figur 12. I figuren er det lagt inn horisontale linjer for 100 Standard Proctor og 95% Standard Proctor. De fleste målepunktene ligger over 95% Standard Proctor og et stort antall ligger også over 100% Standard Proctor. Sammenstillingene fra hvert lag viser at komprimeringen tilfredsstiller kravet som er satt til en tørrdensitet tilsvarende

minimum 95% av maksimal tørrdensitet fra Standard Proctorforsøk. Sammenstillingen viser også at områder med ikke godkjente platebelastningsforsøk har tilfredsstillende tørrdensitet og komprimering.



Figur 12. Sammenstilling av måleverdier fra Troxlermålinger mot Standard Proctor-prøver fra lag hvor det er identifisert platebelastningsforsøk som ikke er godkjente fra [14]. Måleverdiene for Troxlermålingene ligger over 95 % Standard Proctor, og komprimeringskravet er oppnådd.

VURDERINGER KNYTTET TIL UTFYLLING I SJØ

Utfylling av masser i sjø for å utvinne nytt landareal er god bruk av masser. Utfylling ved Kadettangen i Sandvika fra E16—utbyggingen er et godt eksempel på bruk av masser lokalt. De geotekniske problemstillingene ved etablering av fylling i sjø for å lage nytt landareal vil være de samme som ved fylling på land, ved at krav til stabilitet og setninger må ivaretas. Ved utfylling i sjø er det ikke samme muligheter for komprimering av fyllmassene som på land. En mulighet for å redusere porøsiteten er å legge på overlaster, som vil virke positivt både for skjærstyrken og fremtidig setningspotensiale. Når fyllingen når opp til vannflaten, er det også mulig å komprimere med dypkomprimering.

Ved utfylling i sjø vil det også være krav til tillatte grenseverdier for partikkelspredning (turbiditet). Spredning av partikler avhenger av flere faktorer som bl. a. massens innhold av finstoff og kornfordeling. Strømforholdene i vannet, strømmens styrke og retning, påvirkning fra båttrafikk, om vannet er ferskt eller salt og hvor sprangsjiktet ligger i forhold til hvor massene tippes er også faktorer man må ha kunnskap om for å kunne si noe om sedimenteringsegenskapene.

Det finnes informasjon fra noen prosjekter hvor det er utført utfylling med TBM-kaks i sjø. I Norge er masser fra Nye Ulriken-tunnelen brukt til tildekking av forurensede sedimenter i Puddefjorden i Bergen. Her ble det lagt ut et 45 cm tykt lag på 20 m vanddybde, fra lekter med nedføringsrør. Det er fylt ut til sammen 350 000 tonn TBM-masse. Ved utlegging av TBM-massene er det utført kontinuerlig overvåkning med turbiditetsmåler med alarm. Det har ikke vært stopp i arbeidet som følge av utlegging av TBM-massen ifølge sluttrapporten fra PEAB (2018). Det bemerkes at dette området ikke har sterk strøm som kan bidra til økt spredning av partikler.

Det er også funnet eksempler på utlegging av TBM-kaks fra Crossrail London, Norra hamnen i Malmö, og Nordhavnen i København. Masser fra Crossrail-prosjektet (London clay og kalkberg) er fraktet på lekter fra London til munningen av Themsen, hvor det er fylt ut for å reetablere et våtmarksområde og fuglereservat (<https://learninglegacy.crossrail.co.uk>) innenfor voller og sjetéer (voller) som sikret omgivelsene mot suspendert materiale. Masser fra jernbane og metroen i henholdsvis Malmö og København er fylt ut for å utvide havneområdene. Overskuddsmassene består av moreneleire og kalkbergarter. Massene er fylt ut innenfor sjetéer og spunt. Arealet er planlagt brukt til Havnevirkksomhet og det er funnet anbudsdokumenter som indikerer at det er utført noe dypkomprimering til slutt.

Laboratorieforsøk for å vurdere turbiditet og porøsitet

NGI har på oppdrag av Oslo kommune, Vann og avløpsetaten, VAV utført laboratorieforsøk på TBM-masser under vann, for å vurdere spredning av partikler i vannmassene (turbiditet) og porøsiteten til massene slik de kan legge seg etter sedimentasjon til bunnen ved utlegging. Det er utført to typer sedimentasjonsforsøk på prøver av TBM-masser fra Follobanen i Oslo:

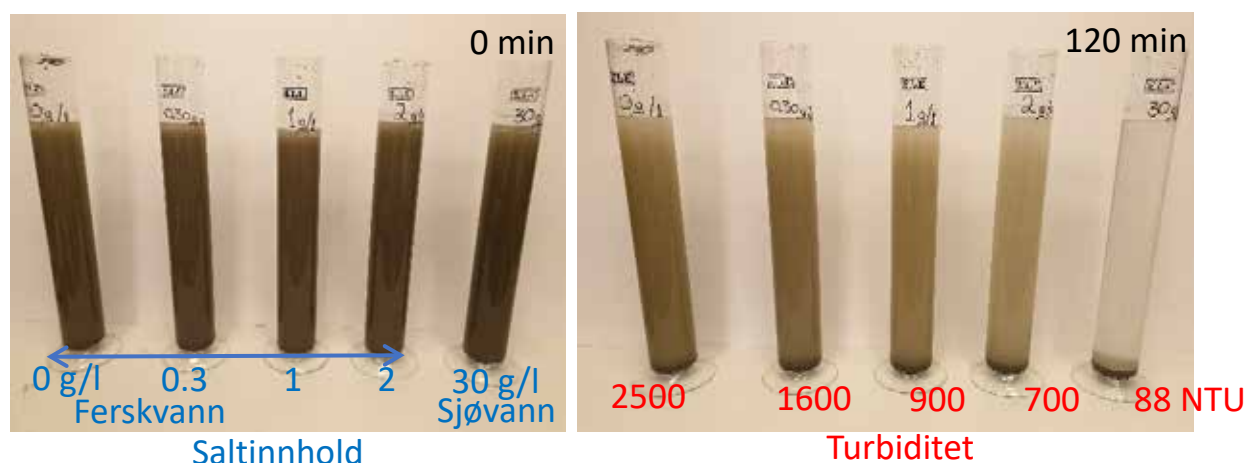
- 1) Sylindertester på finstoffdelen av prøvene (fraksjon <0.063mm), i 1 liters målesylindrer
- 2) Rørtester. Forsøk med hele materialprøven (fraksjon 0 – 90 mm) i rør med større dimensjon (rørdiameter: 480 mm, volum 253 l).

Begge forsøkene ble utført i vann med saltinnhold fra 0 til 30 g/l. 30 g/l tilsvarer normalt sjøvann.

Det er i tillegg utført rørforsøk på sprengt stein for å sammenligne resultatene fra TBM-forsøkene med resultater fra en type masse som er mye brukt til utfylling i sjø.

Utfylling med rene masser vil medføre at finstoff partikler sprer seg i vannmassene. Dette vil gi en estetisk effekt med grumsete vann og kan gi ulike negative effekter på planter og dyr i vannet (hindrer lys til planter, nedslamming av bunnfauna og påvirkning på fisk mm.). Grenseverdien er normalt bestemt på bakgrunn av risiko for oppvirvling av forurensete sedimenter ved utfylling på sjøbunn med forurenset slamslag, typisk maksimalt 10 NTU over målt bakgrunnsverdi. Denne grenseverdien kan overskrides over en bestemt tidsperiode.

Hensikten med sylindreforsøkene var å vurdere effekten av varierende saltinnhold på sedimentasjonshastigheten av finstoff. Forsøkene ble utført i fem 1-liters målesylindrer med rent vann tilsatt salt (NaCl) i ulike konsentrasjoner. Det er utført forsøk med saltinnhold på 0, 0.2, 2, og 30 g/l. I hver sylinder ble det tilsatt 30 g frasiktet TBM-kaks med partikkelstørrelse $<0.063\text{mm}$ (finstoff). Sylindrerne ristes etter tilsetning og det tas turbiditetsmålinger av vannet etter fastsatte tidspunkt. Resultater fra forsøkene er oppsummert i Figur 13. Forsøkene viser at sedimentasjonshastigheten er svært avhengig av saltinnholdet, og dette vil få stor innvirkning på hvor langvarig høy turbiditet vil vedvare.



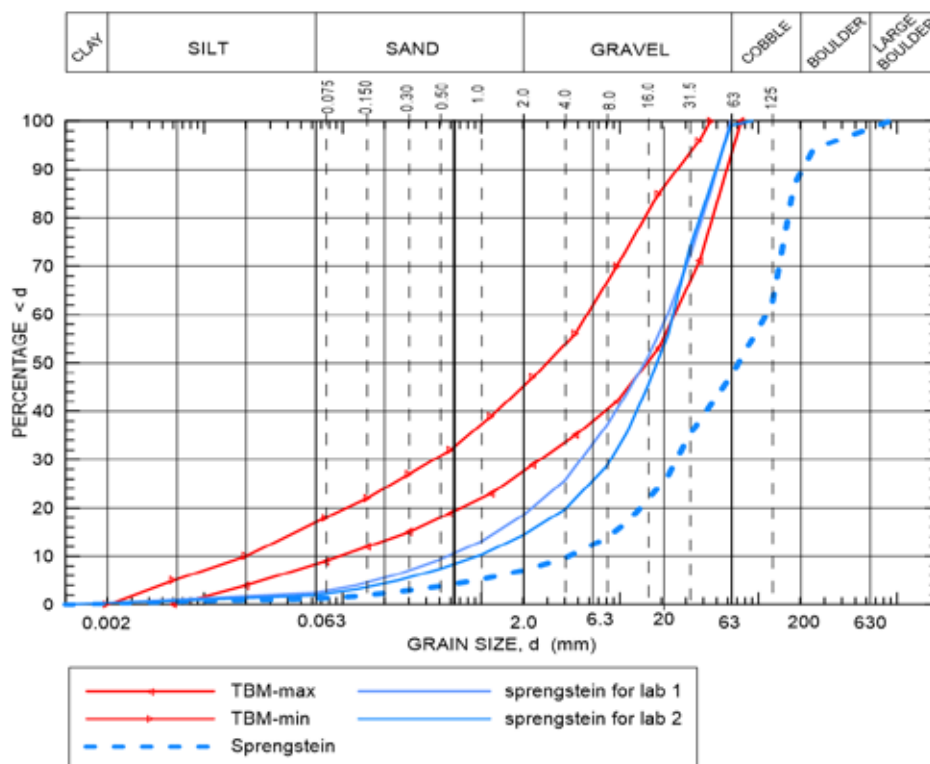
Figur 13. Sylindreforsøk med frasiktet finstoff (fraksjon $<0.063\text{mm}$) fra TBM-kaks, saltinnhold (fra venstre til høyre) på 0, 0.3, 1, 2 og 30 g/l, etter 0 min (venstre) og 120 min (høyre).

Det er deretter utført større rørforsøk på TBM-kaks og frasiktet sprengt tunnelstein (Figur 14). TBM-kakset er fra Follobanen og gravd frem fra fyllingen ved Åsland. Det er også siktet ut 0/63 mm stein fra utsprengt tunnelstein ved Akershuskaia. Begge steinmassene er av samme bergart (gneiss).



Figur 14. Masser for uttesting TBM-kaks fra fylling ved Follobanen (venstre) og sprengt tunnelstein fra Akershusstranda (høyre).

Det er utført sikteanalyse for et lass på 32 tonn med sprengt tunnelstein. Siktekurven er vist med blå stiplet linje i Figur 15. Det er utført to sikteanalyser på fraksjonen 0/63 mm av sprengsteinen, for å kunne sammenligne med TBM-kaks (innenfor samme øvre kornstørrelse). Disse er vist med blå linje i samme figur. Kornfordelingskurvene viser en total finstoffandel på ca. 1% for massen samlet, og ca. 2% for 0/63 mm fraksjonen (relatert til største korn i kurven). Målt kornfordeling ligger også innenfor rapportert erfaringsdata (ITA, 2019) og kan ansees som representativ for sprengt tunnelstein. I Figur 15 er også område for siktekurvene for TBM-kaks fra Follobanen lagt inn med røde linjer, til sammenligning. Den sprengte tunnelsteinen er karakterisert som er steinig grus med finstoffinnhold på 1%. TBM-kakset er karakterisert som er sandig, siltig grus, med finstoffinnhold på 8-18%.



Figur 15. Siktekurve for sprengt tunnelstein av gneis (stiplet blå) sammenlignet med kurver for TBM-kaks fra Follobanen (rød). Tynne blå kurver viser kornfordeling for 0-63 mm fraksjon, hvor >63 mm er frasiktet.

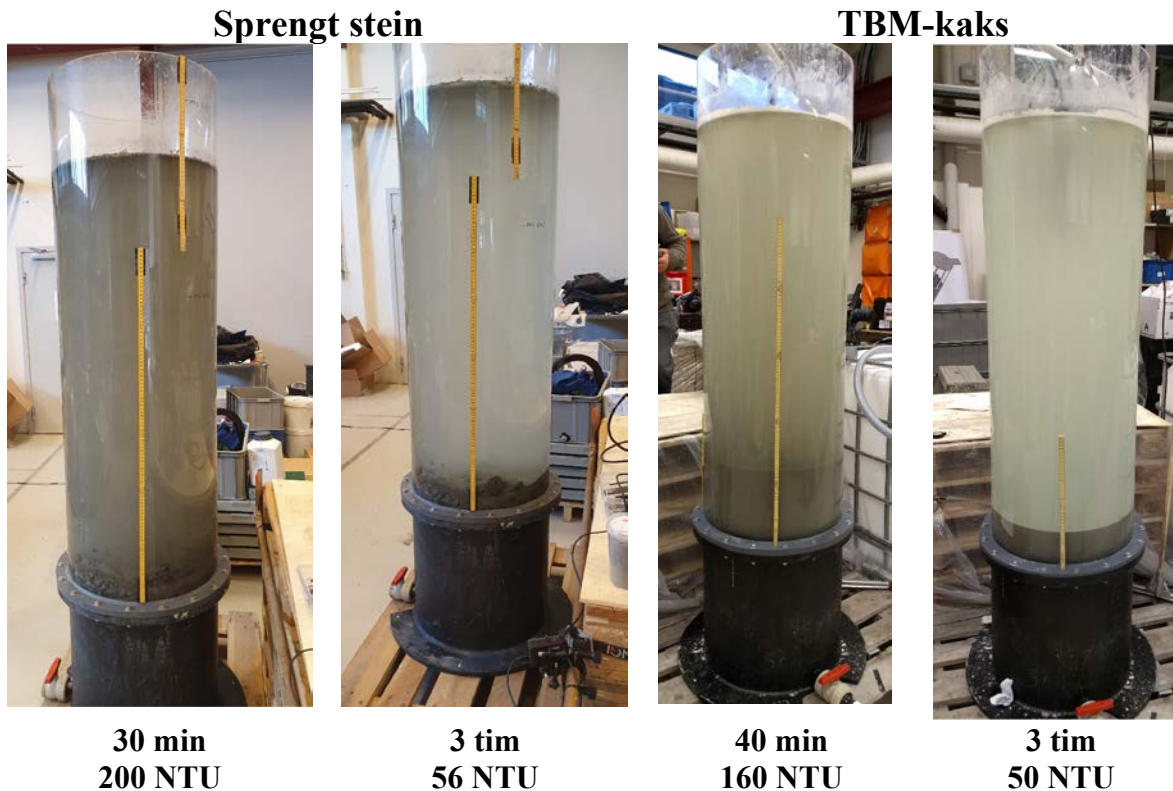
Det er utført modellforsøk med fylling av TBM-kaks i rør med diameter 0,48 m. Formålet med forsøkene er å bestemme densiteten (eller porøsiteten) i fylling som legges ut under vann. Under forsøkene er det også målt turbiditet i røret over tid. For hvert forsøk er det veid opp 180 til 200 kg masser i bøtter. I forsøket ble hver bøtte tømt ut manuelt i røret ved å senke ned bøtten under vannspeilet og tømme massen ned. Bilder fra forsøket er vist i Figur 16. Det er utført til sammen 9 forsøk i vann. Seks forsøk på TBM-masse, to forsøk hver med saltinnhold 0, 2, og 30 g/l. Deretter er det utført tre forsøk på sprengt tunnelstein med fraksjonen 0-63 mm, et forsøk hver med saltinnhold på 0, 2, og 30 g/l. I tillegg er det utført to forsøk med TBM-materiale uten vann, ved å helle den naturlig fuktige massen (3-5 % vanninnhold) ned i røret og måle densiteten uten noen form for komprimering.

Turbiditetsmålinger

Figur 17 viser bilder fra forsøkene i vann etter 30-40 minutter og 3 timer ved saltinnhold på 30 g/l. Resultatene viser liten forskjell i målt turbiditet mellom forsøkene på TBM-kaks og sprengt stein i saltvann.



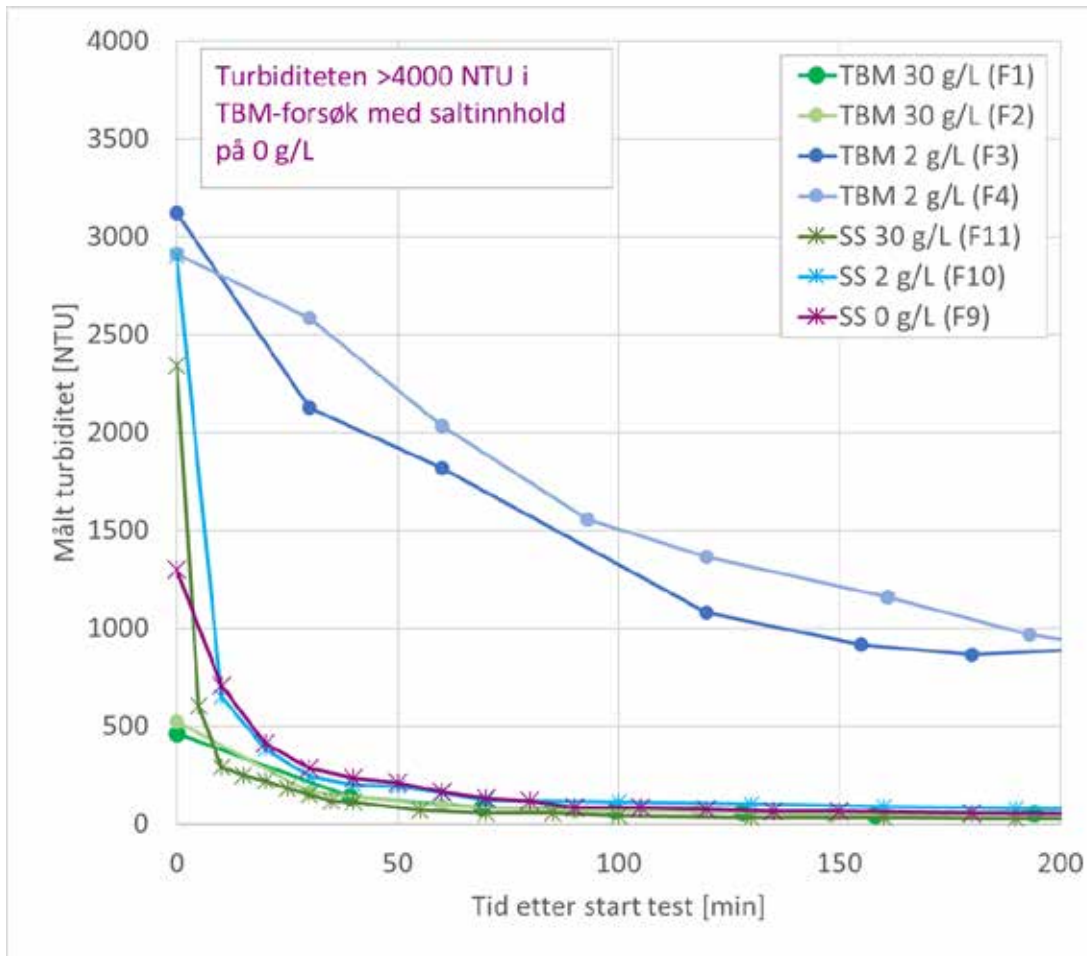
Figur 16. Bilder fra tømning av første bøtte med masse, fra film på utført rørforsøk.



Figur 17. Bilde av rørforsøk med sprengt stein (venstre) og TBM-kaks (høyre) og saltinnhold på 30g/l, resultater etter 30-40 min og 3 timer.

Resultatene fra alle forsøk utført i vann er vist i Figur 18. Diagrammet viser målt turbiditet i NTU ved ulike tidspunkt etter at massen ble tømt i røret. Alle forsøk med saltinnhold på 0 g/l er plottet med lilla kurver. I TBM-forsøkene med ferskvann ble det målt >4000 NTU i hele måleperioden og disse kurvene havner derfor utenfor diagrammet. Forsøk med saltinnhold på 2 g/l er plottet med blå linjer og forsøk med saltvann (30 g/l) er plottet med grønne linjer.

Resultatene viser at sedimentasjonshastigheten for TBM-kakset er sterkt avhengig av saltinnholdet i vannet. Sedimentasjonen for sprengt stein er ikke like følsom for saltinnholdet. Sedimentasjonshastighet for TBM-forsøkene utført i vann med saltinnhold på 30 g/l er i samme størrelsesorden som forsøkene med sprengstein og lavt saltinnhold (0-2 g/l). Det er imidlertid betydelig høyere turbiditet og lengre tid for sedimentasjon av finstoff i forsøkene med TBM-masse enn forsøkene på sprengstein når det er lite salt i vannet. Grunnen til dette er det høyere finstoffinnholdet og bidrag fra forskjellen i kornform, da sprengt stein har mer kubisk form og TBM-kakset er mer flisete. Partiklene vil sedimentere langsommere på grunn av større overflate i forhold til partiklenes vekt. De fineste partiklene vil også sedimentere langsommere på grunn av at overflaten er negativt ladet. I vann med ioner fra salt brytes de negative ladningene, partiklene klumpes sammen i aggregater som er større enn de opprinnelige partiklene og som igjen sedimenter raskere. I vann med lite salter er det mindre grad av aggregering og de fineste partiklene blir hengende lenger i vannsøylen.



Figur 18. Målt turbiditet i resultater fra rørforsøk på TBM-kaks og frasiktet sprengt steinmasse.

Forsøkene er imidlertid konservative i forhold til målt turbiditet i saltvann. Alle forsøkene er utført i stillestående vann, og med et begrenset vannvolum. Ved en reell utfylling vil det skje en generell fortykning som vil resultere i en lavere turbiditet enn det som er målt i forsøkene. TBM-massen som skal deponeres vil inneholde 80-90 % grove partikler per kubikkmeter materiale, disse vil synke med en gang. De store partiklene forventes også å dra med seg deler av finstoffet nedover og bidra til raskere sedimentasjon.

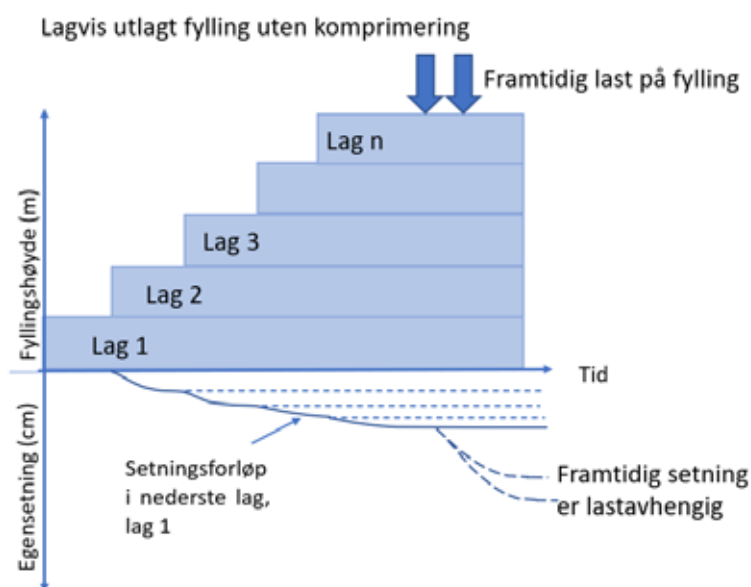
Det forventes dessuten at massen i saltvann vil synke et stykke som en samlet masse (turbiditetssky) siden vannet med innblandet TBM-masser har vesentlig høyere tetthet enn vannet omkring. Ettersom denne massen synker nedover, vil det blandes inn vann fra volumet rundt. Denne mekanismen vil bidra positivt ved at den transporterer mye av TBM-massene raskere ut av overflatevannet og ned under et eventuelt sprangsjikt der høyere salinitet også vil bidra til økt sedimentasjon (Sintef, 2008).

Porositetsmålinger

Porositeten i TBM-kakset som er sedimentert i vann i forsøkene er beregnet fra 33 til 38%. Til sammenligning er porositeten i de to forsøkene uten vann bestemt til 38 – 39%. Disse kan antas å tilsvare ukomprimert masse lagt ut fra endetipp. På komprimerte TBM-masser lagt ut på land med lagvis utlegging og normal komprimeringsenergi oppnådde man en porøsitet mellom 20 og 25%. Forsøksresultatene fra rørforsøkene indikerer at det ikke har stor betydning om massene legges ut i vann eller om de legges ut løst på land. Det er mangelen på

komprimering som bidrar til den høyere porøsiteten. Førsøket gjelder for ett lag, uten belastning fra neste lag.

Ved lagvis utlegging vil hvert nytt lag medføre belastning på laget under seg og bidra til noe komprimering og reduksjon av porevolum i underliggende lag. Den målte porøsiteten på 33 til 38% gjelder derfor bare for utlagte masser som ikke er belastet av nye lag over seg. Ved lagvis utlegging vil hvert nytt lag medføre komprimering (reduksjon i porøsitet) og setninger i underliggende lag. Figur 19 viser setningsutvikling i det nederste laget som følge av gradvis utlegging av flere lag. Det vil etter ferdig utfylling være et gjenstående setningspotensial i de øverste lagene som har liten belastning fra masser over seg. Videre kan det utvikles setninger i fyllingen dersom den påføres laster fra fremtidig tilleggsbelastning som vekt av bygg, kraner eller konstruksjoner. En utfylling vil i tillegg medføre setninger i undergrunnen. Disse setningene vil kunne bli store hvis fyllingshøyden (vekten av utlagt fylling) er stor og undergrunnen er bløt (leire), og er uavhengig av fyllmassens egenskaper. For å forsere setninger i TBM-massen er forbelastning av fyllingen et godt virkemiddel. Den vil også være positiv for setninger i de underliggende massene. En forbelastning vil påskynde setningsforløpet og gi arealet reduserte setninger i framtiden.



Figur 19. Prinsippfigur som viser utvikling av egensetninger i det nederste laget ved lagvis utlagt fylling uten komprimering.

KONKLUSJONER

Nedenfor oppsummeres hovedkonklusjonene for nyttiggjøring av TBM-kaks som fyllingsmateriale, basert på blant annet omfattende karakterisering av TBM-kaks og sammenstilling av data fra utfylling ved Åsland i forbindelse med Follobane-prosjektet:

Massens egenskaper:

- TBM kaks karakteriseres som en sandig, siltig grus
- Massen er ikke forurenset (gjelder for TBM i norsk berg, hvor det ikke er behov for tilsetningsstoffer)
- Egner seg godt til tildekking av forurensete sedimenter

Utfylling på land:

- Egner seg godt som utfyllingsmateriale på land, hvor håndteringen må sikre at det ikke tilføres vann før utlegging og at massen legges ut og komprimeres lagvis. Det er etablert fylling ved Åsland hvor høy densitet, god bæreevne og lavt setningspotensiale er dokumentert.

Utfylling i sjø:

- Finstoff holder seg lengre suspendert i ferskvann enn i saltvann. Under sprangsjiktet er det liten forskjell i sedimentasjonen (turbiditeten) mellom TBM-kaks og sprengt stein i sjøvann.
- Dersom TBM-massene kan slippes i saltvann under sprangsjiktet, vil risikoen for overskridelse av partikkelspredning være i samme størrelsesorden som ved utlegging av sprengt stein. Mulige løsninger for dette vil være utlegging fra splitt lekter som går ned under sprangsjiktet (der dette ligger grunt), eller utlegging med nedføringsrør til dyp med høyere salinitet.

REFERANSER

Andresdottir Herbjörg, Plate load testing. Effects of in situ conditions, test procedure and calculation method. Master degree thesis NTNU. 2019.

Bane NOR (2013). UVB-30-A-70072 The Follo Line, Åsland. Application of TBM spoil as a quality fill for Gjersrud/Stensrud township. NGI rapport 20130559-15-R. Rev. 02. Datert 2016-06-10.

Bane NOR (2018). Kontrolldata fra fylling av borkaks fra Follobanetunnelen. Evaluering av geoteknisk kontroll av fylling av borkaks. NGI rapport 20180498-01-R. Rev. 0 datert 2018-09-12.

Bane NOR (2019). UFB-31-A-67013. The Follo Line Project, EPC TBM. Follobanen, Åsland. Spoil Area. Final report. Rev. 00E, 04-12-2019.

Bane NOR (2020). The Follo Line project. Deponiområdet Gjersrud – Stensrud. Vurdering av kvalitet av utført fylling ved Gjersrud – Stensrud. NGI rapport 20200443-1-R.

Barnard and Heymann, 2015. The effect of bedding errors on the accuracy of plate load tests. J. S. Afr. Inst. Civ. Eng. vol.57 n.1 Midrand Jan./Mar. 2015.

Dahl, Marianne (2018). Investigation of geotechnical properties of TBM spoil from the Follo line project. Master degree thesis. 2018.

ITA (2019). Handling, treatment and disposal of tunnel spoil materials. International tunnelling and underground space association. Working groups 14 and 15 Underground construction and the environment and mechanized tunnelling. Report no 21/April 2019. ISBN: 978-2-9701242-0-7.

Kjærnsli, B. (1968). Fundamentering på grus- og steinfyllinger. NGI Publikasjon nr. 73.

Kjærnsli, B., Valstad, T. & Høeg, K. (1992). Rockfill dams. Design and construction. Tapir, Tondheim, Norge. ISBN 82-7598-014-3.

NGI (2019). GEOreCIRC – GEOressurser i en sirkulær økonomi. Tunnelborkaks (TBM-kaks) – karakterisering og nyttiggjøring. NGI rapport 20160794-08-R. Datert 2019-12-13.

NVE/NTNU (1991). Fullprofilmasser. Materialelegenskaper og anvendelse. Prosjektrapport 16:91. NVE/NTNU.

PEAB (2018). Renere Puddefjord. Sanering av forurenset sjøbunn. Sluttrapport. Bergen kommune. Peab rapport 617391-RIGm-RAP-01. Datert 29. november 2018.

Statens vegvesen (2018). Geoteknikk i vegbygging. Håndbok V220. Vegdirektoratet 2018.

Statkraft (1986). Prosjekt fullprofilmasser materialelegenskaper. NGI rapport 85607-1. Datert 30. mai 1986.

VAV (2020). Vurdering av sedimentasjon av TBM-kaks i sjø. NGI rapport 20190407-02-R-rev02. Datert 2020-08-25.

SULITJELMA - ET SPESIELT GRUVESAMFUNN

Hilde Mangset Lorensen, NRK Nordland

Dette er en artikkel skrevet av journalist Hilde Mangset Lorensen, med fotografier av Ola Helness. Artikkelen kommer i sin helhet inn i boken «Bergets beseirere» som redigeres av NFFs Kulturutvalg og som utgis i løpet av høsten 2020.

Presentasjonen for Fjellspreningsdagen blir en noe forkortet utgave av artikkelen for å tilpasses tilgjengelig tid. Forfatteren hadde ikke anledning til å holde presentasjonen selv, og den blir derfor fremført av Per Bollingmo.

SAMMENDRAG

Malmen i Sulitjelma ble funnet i 1858. Den svenske konsulen Nils Persson sikret seg rettighetene til et stort område for å starte gruvedrift. I 1887 kom driften i gang, og det ble bygget et samfunn i ødemarken. Det viste seg imidlertid at Persson ikke bare eide gruen, men hele samfunnet, med boliger, veier, skole, bakeri og den eneste butikken. I tillegg hadde de egen myntenhet. Et sterkt klassedelt samfunn gror frem der funksjonærene har gode boligforhold, og arbeiderne bor under trange forhold, og hvor helsetilstanden er dårlig. På kirkegården er det flest barn som er gravlagt. Etter hvert blir det opprør mot de dårlige forholdene og arbeiderne organiserer seg. Forholdene blir etter hvert bedre, og ved avslutningen av driften i 1991 er det totalt drevet ut 1240 km med tunneler, eller strekningen Sulitjelma-Drammen.

SUMMARY

The ore deposits in Sulitjelma were discovered in 1885. The Swedish consul Nils Persson acquired the rights to utilize the deposits, and mining activities started in 1887. Persson did not only own the mine, but the whole society with houses, roads, school, bakery, the only shop available, and a monetary system with its own currency. A society with severe differences in living standards were established. Workers had very harsh working conditions, poor housing- and health standards. The miners opposed to the conditions and were finally organized in unions. The conditions improved, and at the termination of the mining activities in 1991, a total of 1240 km tunnels were excavated, equal to the distance Sultjelma - Drammen.

Labyrinten av gruveganger ledet over hundre mann i døden. De mørke gruvegangene i Sulitjelma var beryktet. Men da arbeiderne også skulle «slavemerkes», skjedde noe som fortsatt sprer godhet i bygda. Det skulle egentlig ikke vært noe her. Ingen vei, coop-butikk, skole eller kirke. Området var nesten ubebodd helt fram til slutten av 1800-tallet. Men en skinnende stein forandret alt. Også for oss som lever i dag.

Sulitjelma er et veldig spesielt sted. Tove Wensell ser utover den hvite fjellheimen. Lufta står helt stille. Bare lyden av ei kråke og vinteren som sklir ned fra takene i store flak. Det er mange som har sagt akkurat det: At Sulitjelma skiller seg ut.

Det lå så isolert. Her gjaldt lenge ingen andre regler enn de som eierne av området fant på. I dag må du kunne historien for å forstå det du ser rundt deg. Forstå hvorfor noen hus er små og enkle, mens andre er store og utsmykkede. Hvorfor flertallet av gravene på den eldste kirkegården tilhører barn under ti år. Eller hvorfor kirka ikke har spir. – Klasseskillet var enormt. Enormt. Det skarpe sollyset i fjellheimen svir i øynene. Men noen meter under oss, ligger et stort, menneskeskapt mørke.

En verdifull stein. Hele historien starter med én enkelt stein en fattig same oppdaget i 1858. Samen het Mons Petter og bodde på en gård i nærheten av det som i dag er Sulitjelma. Hver sommer kom han til den frodige fjellsiden for å skjære ut tømmer av gamle furutrær.

På en av disse turene søkte han ly under noen fjellhyller. Der oppdaget han en stein som skinte som gull. Samen tok med seg steinen ned fra fjellet og til den lokale handelsmannen. Men beskjeden han fikk, var nedslående. Riktignok lignet steinen på gull, men den var altfor lett til å kunne være det, mente handelsmannen. Samen måtte derfor reise tomhendt hjem igjen og døde senere i fattigdom. Men steinfunnet vakte likevel såpass nysgjerrighet i lokalsamfunnet at det ble gjort flere undersøkelser i tiårene som fulgte. Det viste seg at det ikke var gull, men store mengder malm inne i fjellet.

Selv om det var verdifullt, tvilte mange på at det ville være mulig å gjøre driften lønnsom på et så øde sted. Det ble med noen sporadiske forsøk, inntil den svenske konsulen Nils Persson i 1886 kom over en steinprøve i København. Han ville bruke malmen til kunstgjødsel og sikret seg raskt rettighetene til et 400 km² stort stykke av Nordlandsfjellene. Siden området ble ansett som ødemark, betalte han ingenting for avtalen.

Det skulle snart vise seg at svensken hadde gjort et kupp, og allerede vinteren etter var driften i gang. På rekordtid oppstod nå et helt samfunn ut av ingenting. Det ble bygd vei, arbeiderboliger, telegraf, sykehus, post, skole, bakeri og butikk i fjellheimen. Allerede tidlig på 1900-tallet er gruveselskapet blitt landets største bergverk og nest største industribedrift. Fattige bønder og fiskere kommer i tusentall for å arbeide i gruvene.

Men mange får sjokk. For at Sulitjelma ikke er som et hvilket som helst tettsted, får de raskt merke.

Eier alt. Verket eier nemlig ikke bare gruvene. Det eier hele stedet. Det eier huset arbeiderne bor i, maten de spiser, veien de går på og svovelrøyken de puster. Gruvesamfunnet har sin egen myntenhet og den eneste matbutikken som er tillatt, eier verket. Der kan priser fastsettes, slik arbeidsgiveren ønsker. Kyr og geiter, som kan gi arbeiderne tilgang på egen mat, er strengt kontrollert, ettersom verket også eier beitemarka. I tillegg bestemmer verket hvem som skal få bo i Sulitjelma. Blir en arbeider syk, må han og familien flytte. Gamle og uføre sendes vekk. Dør en familiefar i gruvene, får ikke enken og barna bli boende i Sulitjelma. Det er kun plass til dem som kan arbeide. Samtidig er det nok av folk å ta av. I starten er det så stort overskudd av arbeidskraft at de fattige arbeiderne må starte dagen med å by mot hverandre.

De som sier seg villig til å jobbe for den laveste lønna, får dagens oppdrag. Etter hvert avvikles dette systemet, men lønna er fortsatt lav. I 1903 er den på åtte kroner for en hel måned, noe som tilsvarer 586 kroner i dagens kronekurs. Arbeidsdagene i gruva er kalde og mørke. De starter vanligvis klokka 06.00 og varer i ti til tolv timer. Jobben er farlig, og de fleste nordmennene er uten erfaring fra gruvearbeid. Flere dør i sprengningsuhell, andre får

store steinblokker over seg og blir enten lemlestet eller mister livet. Kan de ikke lenger jobbe, må de ut. Blir en arbeider oppfattet som uhøflig, får han bot. Andre steder i landet har arbeiderne begynt å gjøre opprør. Men i det lukkede Sulis-samfunnet får ingen med slike tanker slippe inn. Verket har egne spioner som angir personer med opprørstanker. Noen snikes inn, men blir oppdaget og svartelistet.

Barnas kirkegård. I mellomtiden fortsetter et klassesdelt Sulitjelma å vokse fram. I den finere delen av tettstedet bygges vakre hus med utsmykninger og frodige hager. Her bor funksjonærene, ingeniørene og direktøren. Direktørboligen i Furulund har også andedam, tennisbane og lysthus.

Arbeiderfamiliene huses i trange boliger med kakerlakker og bitende veggglus. Boligmangel gjør at de er forpliktet til å huse såkalte «lauskarer», altså menn som bor der uten familie. Boligene ligger i tilknytning til de ulike gruvene, for å gjøre veien for arbeiderne kortest mulig. I et gammelt opptak med forfatteren og historikeren Dag Skogheim, forteller Aksel Gullesen om hvordan han som åtteåring kom opp til Sulis fra Hemnes.

– Jeg syntes det var stygt. Alt var svart og avbrent. Røsteovnene gjorde lufta så svart at det nesten ikke var mulig å trekke pusten. Åtteåringen er en av tretten søsken.

Han og familien får leilighet i den såkalte Storbrakka. Der bor barna, foreldrene og to løskarer fordelt på to rom på totalt 31 m². Det var så trangt at det var om å gjøre å bevege seg minst mulig. Boforholdene gjør at sykdommene florerer. Det gir utslag på en særlig dyster statistikk.

På kirkegården som åpner i 1894 er flertallet av de gravlagte barn.

I en medisinalrapport fra Sulitjelma rundt 1900 står det: *«Det har været aldeles paafalende alle de barnekister som i vinterens løp er kjørt paa kirkegaarden heroppe, og efter det vi har bragt i erfaring er det overveiende antal fra familier med daarlig husrom»*

I løpet av de 27 årene gravgården er i drift blir 277 barn under ti år gravlagt her. I tillegg gravlegges 61 dødfødte spedbarn. Gravstedet i fjellsiden skal senere bli kalt barnas kirkegård. Det er i dette samfunnet av fortvilte foreldre og slitne kropper et opprør skal skje:

Arbeidsverktøyene i starten er hammer, feisel og ei tranlampe. Utgiftene til dette trekkes fra arbeidernes lønn. Her fra Charlotta-gruvene i 1895.



Grenseløst dårlig behandlet av arbeidsgiver, og motstandsviljen tiltar. Fra Charlotta gruva 1895. Foto: Helgesen, Nicolai Marselius / Nordlandsmuseet

Slavemerket. Frustrasjonen over det som nå er blitt kjent som «Lapplands helvete» øker. En januardag i 1907 er grensen nådd. Den utløsende årsaken er at arbeiderne blir beordret til å bære et blylodd rundt halsen. Loddene er nummererte og kopiert opp i hundretalls. Hver arbeider har hvert sitt nummer. Loddene skal tas på når de går på vakt og henges fra seg når de går av. Slik kan ledelsen passe på at alle overholder vakta. Men mens noen av de eldre mennene tar på seg loddet, nekter resten. De ser det som en nedverdiggelse, som nok et eksempel på at de oppfattes mer som dyr, enn mennesker.

Verksledelsen gjør dermed noe som virkelig får det til å svartne for arbeiderne. De tar med seg blyloddene til Charlotta-gruvene. Der jobber de som er aller mest avhengig av inntekten de får. I denne gruva er de fleste familiefedre til store barneflokker. Verksledelsen mener denne gruva vil være det enkleste stedet å innføre ordningen.

Men de tar feil. Mennene nekter.

120 menn lar blyloddene ligge.

– Si meg, er dette arbeidsnekt? spør verksbetjenten en av mennene om.

– Nei, jeg nekter ikke å arbeide. Men jeg nekter å ha på meg det slavemerket.

De blir oppsagt på stedet.

Masseoppsigelsen av fedrene i Charlotta-gruva sprer seg til de andre gruvene.

Det er nå det skjer. Det er som et ras utløses. Søndag 13. januar skriver arbeiderne seg inn i historien. I gruve etter gruve forlater mennene de mørke gruvegangene og arbeiderboligene. 200 her, 300 der. De går i store flokker ned fra fjellsidene og mot det eneste stedet verket ikke eier; det islagte Langvatnet.

Forbannelsen. Inne i kirka holder presten gudstjeneste denne søndagen. Over hodet hans står det høyreste kirketaket, fortsatt uten spir. Det har den gjort siden den ble innviet for noen år tilbake. Folk i bygda har rett og slett ikke tatt sjansen på å sette på et spir. Årsaken er et syn

som en forvist same skal ha sett, lenge før gruvedriften startet. Ifølge spådommen hvilte en forbannelse over stedet. Han sa han hadde sett folk komme i tusentalls, at fjell skulle brytes og skogen skulle herjes.

«Men når sola gyllar i kirkespir, skal stormen øda mennerskans verk».

Derfor ble spiret liggende. Men presten kommer snart til å tro at dommedagen likevel er kommet. For midt under prekenen kommer verkets bokholder inn. Han sier noe til klokkeren som står ved døråpningen. Klokkeren går opp mot prekestolen og hvisker noe til presten. Presten avslutter prekenen og går ut på kirkebakken. Dagslyset har så vidt seget innover dalen. Men det er klart nok til å se det som skjer. Synet skal ha fått presten til å utbryte; «Nå faller det gamle Sulitjelma».

Der ute på isen, like ved kirken, omkranset av fjell, står rundt 1300 arbeidere.



Slik så blyloddet ut. Det var dette arbeiderne ble bedt om å bære rundt halsen. De følte menneskeverdet sto på spill, og nektet. Foto: Ola Helness

Gruvearbeiderne hoier og jubler. De har aldri før vært samlet på denne måten. Nå snakker alle med alle. Stadig flere kommer til, trækker opp nye stier i snøen. Kvinner, menn og barn. Noe har brast. På provisoriske kasser holder arbeiderne improviserte taler, mens noen av funksjonærene står på land og ser. Over natta blir omtrent samtlige av arbeiderne organisert. Kort tid etter får Arbeidsmannsforbundet et telegram fra Sulitjelma-arbeiderne. Beskjeden er enkel: Send 1200 medlemsbøker! Etter denne dagen blir Sulitjelma aldri den samme.

Verket gir opp å innføre «slavemerket». Den første tariffavtalen blir forhandlet frem. Enkelte arbeidsplasser får 8-timers arbeidsdag. Og når våren begynner å sildre nedover fjellsidene, går arbeiderne i sitt aller første 1. mai-tog.



I 1907 går arbeiderne i sitt aller første 1.mai-tog. Foto: Nyhetsspiller.

Men kampen for en bedre framtid har så vidt begynt. Bare noen år senere skal fire skip med 350 væpnede soldater gli rolig gjennom fjorden, på vei mot Sulitjelma.

Kontroll.

«Jeg får nesten frysninger av å tenke på det. Alle historiene her». *Måten de levde på.* Tove Wensell (68) har bodd hele livet sitt i Sulitjelma og området rundt. Nå viser hun turister rundt på hjemplassen.

Det var som et føydalsamfunn. Det var kontroll med absolutt alt du skulle foreta deg.

Faren hennes var jernbanearbeider og hun husker godt klasseskillet, også da hun vokste opp. *Jeg husker jeg gikk i 1.mai-tog som barn. Da vi gikk forbi funksjonærboligen sto han med ryggen til og raket i hagen. Det var et skarpt skille. Langt opp på 80-tallet.*

Hun tilhører den samiske slekta som har røtter i dalen tilbake til 1700-tallet. Etter at kreften rammet henne for noen år siden, forsto hun viktigheten av å tilhøre et sted. Nå gjør hun det hun kan for å gjøre historien til hjemplassen kjent. *Jeg er så inderlig glad i dette stedet.*

I dag er gruvene stengt og verket nedlagt. På overflaten kan Sulitjelma nesten se ut som en hvilken som helst bygd. Klynger av hus. Et stort, islagt vann. En kirkegård i fjellsiden.

Landskapet skjuler den enorme labyrinten inne i fjellet. Vet man ikke at den er der, er det som den ikke eksisterer.



Tove Wensell har røtter i Sulitjelma tilbake til 1700-tallet. Foto: Ola Helness

Omfanget er nesten uforståelig.

I løpet av 104 år gravde arbeiderne ut ganger i mørket som i utstrekning kunne gått fra Sulitjelma til Drammen. Lag på lag. Dypere og dypere.

«I et mørke så absolutt at mennesket mistet orienteringsevnen fullstendig og kunne rave om i de veldige gangene til det stupte om», slik historiker Dag Skogheim beskriver det i romanen «Sulis».

Skogheim intervjuet en lang rekke gruvearbeidere i arbeidet med boka. I den beskriver han desperasjonen mange hadde etter å komme seg vekk og hvordan livet i gruvene kunne påvirke psyken. Nå er det ingen lenger som får komme inn i gruvene. Det er for farlig. Stein kan rase ned. Men vi har flaks. Wensell kjenner noen. *Her kan vi gå.*

Hun trår over noen sølepytter med smeltevann og går mot noe som ligner et grønnmalt verksted med en parkeringsplass utenfor. Døra står åpen. *Hallo?* hun titter inn.



Foto: Olav Helness

Der inne står John Gunnar Olsen og skur på en snøskuter. Han kommer bort og hilser. *Sønnen min driver med cross, skjønner du og peker bort på scooteren.* Han er tredje generasjon som har arbeidet for gruveselskapet. Selv startet han som 18-åring og jobbet noen år før det ble nedlagt i 1991. Rommet han står i ligner på en garasje, med betonggulv, verktøy og en gammel kalender. Men i virkeligheten er det inngangen til gruveporten. Olsen går inn i det som ligner en garderobe, men den har ingen endevegg. Bare en ny dør.

Militærmakt.

Gruva, som noen generasjoner senere skal være kamuflert bak det som ser ut som et verksted, er en av de første som graves ut. Det er på den tiden det fortsatt brukes hester til å dra lasten inne i mørket, og arbeiderne knapt ser dagslys store deler av året. Men etter opprøret på isen i 1907 skjer det sakte, men sikkert små forbedringer. Barna deres får mer skolegang. Det blir etablert et bibliotek. Fagforeningen godtas av ledelsen. Likevel er arbeiderne fortsatt nederst på rangstigen. Prisdugg både kobberpriser og verkets påfunn.

I 1911 går de ut i sin første streik. Nå er de ikke lenger alene, men en del av en landsomfattende gruvestreik. Målet er en økning i minstelønnen fra 30 til 35 øre i timen. For å presse arbeiderne bestemmer verksledelsen at de nå ikke får slå høy. Dyrene får heller sulte. Gresset ligger tross alt på verkets eiendom. Etter over to måneder er streiken avsluttet. Arbeiderne vant ikke fram, men de hadde i det minste stått samlet. I årene som følger kommer det flere streiker. I 1918 oppfattes samholdet i gruvesamfunnet som en så stor trussel, at militæret settes inn.

Årsaken er at arbeiderne beskytter en av sine egne, som skal arresteres for å ha nektet militærtjeneste. I gruvesamfunnet er det stor forståelse for militærnekt. Militæret oppfattes av mange på denne tida som nok en måte å holde arbeiderklassen nede. Det sies at forholdene i brakkene var så harde at mennene ofte kom hjem i dårlig forfatning. Men hos myndighetene, som frykter en klassekamp slik den i Russland, slås ordrenekt hardt ned på. Lokalt politi forsøker flere ganger å reise opp til Sulitjelma for å hente ned militærnekteren. Men gruvearbeiderne nekter å gi han fra seg. Det fører til nasjonale avisoppslag. Regjeringen reagerer med å sende 355 soldater, offiserer og ordenspoliti opp til Sulitjelma.

Alle veier stenges. Telefonforbindelsen kuttes. 11 arbeidere arresteres.

1-0 til gruveledelsen og regjeringen. I dette fjellandskapet skjuler det seg en milelang labyrint. I utstrekning kunne det gått fra Sulitjelma til Drammen. Her ser vi flere av de gamle arbeiderboligene i Jakobsbakken.



Fjelltraktene som skjuler malmforekomstene. Foto: Ukjent

Fremskritt.

Mellomkrigstiden blir tung for mange arbeidere. Dårlig økonomi og stadige lockouts fører til vanskelige tider for arbeiderne og familiene. Samtidig er det lyspunkter. I 1923 innføres åtte timers arbeidsdag for alle. Flere arbeiderboliger får innlagt vann og toalett. Arbeidsløs ungdom får tilbud om kveldskurs og håndverkskurs. Det samles inn penger til de brannrammede og bevilges penger til familier uten inntekt.

Arbeidernes forsamlingshus står ferdig i 1926 og kulturlivet blomstrer. Det arrangeres skirenn, opprettes korps og idrettslag. De fagorganiserte får i stand en syke- og hjelpekasse, og eldre som ikke lenger kan jobbe får et sted å bo. Samtidig er ikke verksledelsen like hardhendt som tidligere. Det satses mer på sikkerhet i gruvene og det vies mer tid til plagene mange arbeidere sliter med.

På 60-tallet åpner et helt nytt boligfelt for arbeiderne. Denne gangen er det eneboliger. Nå bor de til og med side om side med noen av funksjonærene. Funksjonærene får riktignok velge husene sine først, - men etter dem i køen står familier med mange barn eller sosiale problemer. Litt etter litt blir Sulitjelma et bedre sted å vokse opp. Etterkommerne til de første gruvearbeiderne får mer skolegang, bedre boforhold og tryggere jobber. Over hele landet leder de små og store kampene til små seire. Velferdssamfunnet ser dagens lys.

Fra mørke til lys. *Henger dere med?* John Gunnar Olsen titter bak seg. Han har forlatt snøskuteren og gått inn i et siderom som ligner en garderobe. Vi passerer en gammel vask, en benk og noen støvler. Så åpner han en til dør, - og der ser vi fjellveggen. Vi går inn i et stort rom med neonlys, dryppende gruvevegger og en rusten skinnegang med små vogner.

Gamle plakater er hengt opp som en påminnelse til arbeiderne om hvor mye utstyret de bruker koster. Viseren på klokka står stille. Olsen fortsetter innover langs skinnegangene. Lufta blir kaldere mot ansiktet for hvert skritt vi tar, fingrene stivere. Det er som å gå inn i et kjølerom. Den tidligere gruvearbeideren stopper ved den stengte porten og klemmer inn bryteren. Jernporten rykker til og trekker seg sakte opp. Den stopper og det blir stille. Der inne høres kun lyden av dryppene fra gruvetaket.

Totalt 124 mil er hugd ut. Av dette er 84 mil blitt skinnelagt. I prinsippet skal du kunne bevege deg fra den ene gruva til den andre. Bak porten fortsetter skinnegangene flere

kilometer, før de ender ved smalere tunneler knapt bredere enn at ett menneske får plass. Der kunne man sendes videre ned i mørket. 500 meter ned under Langvatnet kom de. Ofte orienterte arbeiderne seg kun ved hjelp av hukommelsen. Valgene som ble tatt her inn, kunne være skjebnesvangre. Rundt 120 personer døde i ulykker i forbindelse med gruvene. Tar man med alle de som døde av indirekte skader er tallet langt høyere. Amputeringer det gikk verk i. Lungebetennelse. Svovelrøyk som fikk det til å renne blod fra både nese og øyne.

Hvordan det var å jobbe i et trangt mørke med få utveier, er ikke lenger noe folk flest kan få følelsen av. Rasfaren er for stor og det er utfordrende å skaffe nok penger til sikring.

Mye er oversvømt. Det er naturen som bestemmer. Fjellet lever sitt eget uforutsigbare liv, sier Olsen. Wensell er redd historien er i ferd med å bli glemt.

Museet borti veien, med gamle gjenstander og utkledd mannekengdukke, er det nærmeste vår generasjon får komme. Nå ligger gangene i fjellet der helt uberørt.

Stille som i graven.

Partnere ved Fjellsprengningsdagen 2020

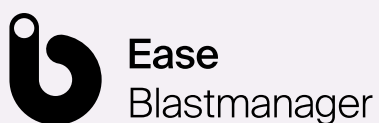
GULL:



SØLV:



UTSTILLER:



Arrangører
Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk

ISBN: 978-82-8208-075-0