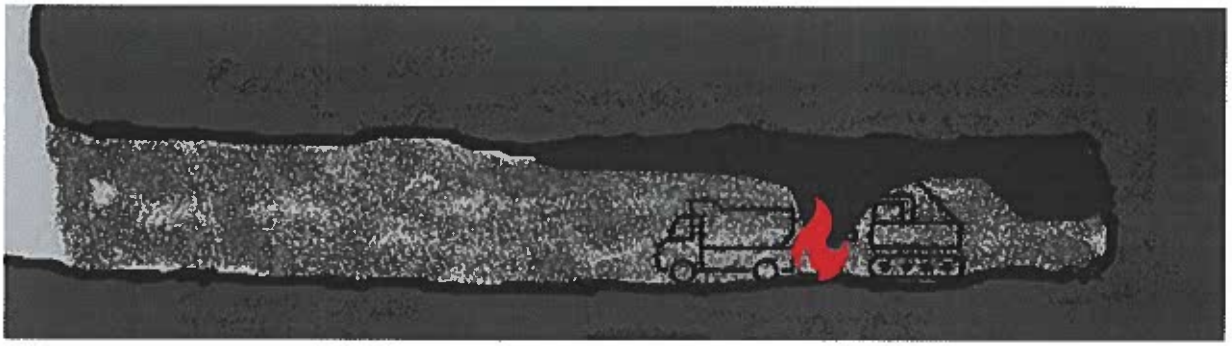
LM-066/2025

Fylgiskjal 4

SWECO

RAPPORT

BRANNRISIKO UNDER BYGGING AV TUNNELER



Kunde:	Landsverk, Færøyene
Prosjekt:	Sudurøytunnelen, Risiko ved brann
Prosjektnummer:	10226294

Rapporteringsstatus:
☒ Endelig
☐ Oversendelse for kommentar
☐ Utkast

Utformet av:	Sign.:
Martin Hagen	
Kontrollert av:	**Sign.:**
Bent Aagaard	
Prosjektleder:	**Prosjekteier:**
Bent Aagaard	Torbjørn Yri

Revisjonshistorikk:

00	06.05.22	Oversendelse av rapport	NOMART	NOBENT
Rev.	Dato	Beskrivelse	Utformet av	Kontrollert av

Innholdsfortegnelse

1 Innledning 4
1.1 Bakgrunn og hensikt 4
1.2 Omfang og avgrensninger 5
2 Regelverk, veiledere og bransjenormer 5
2.1 Norsk Regelverk 5
2.2 Norske veiledere og bransjenormer 6
2.3 Andre Europeiske føringer og relevant litteratur 7
3 Risiko forbundet med arbeid under jord og tunneldriving 7
3.1 Ulike faser og forutsetninger i tunnelarbeidet 7
3.2 Sannsynlighet for brann, hva forteller erfaringen 7
3.3 Faktorer som påvirker konsekvenser ved brann 8
3.3.1 Brannscenarioer 8
3.3.2 Brann-og røykspredning og påvirkning av ventilasjon 8
3.3.3 Evakuering og redningsrom 9
3.3.4 Redningsinnsats 9
4 Tiltak 10
4.1 Personlig sikkerhetsutstyr 10
4.2 Fysiske og tekniske tiltak i tunnelen 10
4.3 Organisatoriske tiltak 10
5 Referanser 12

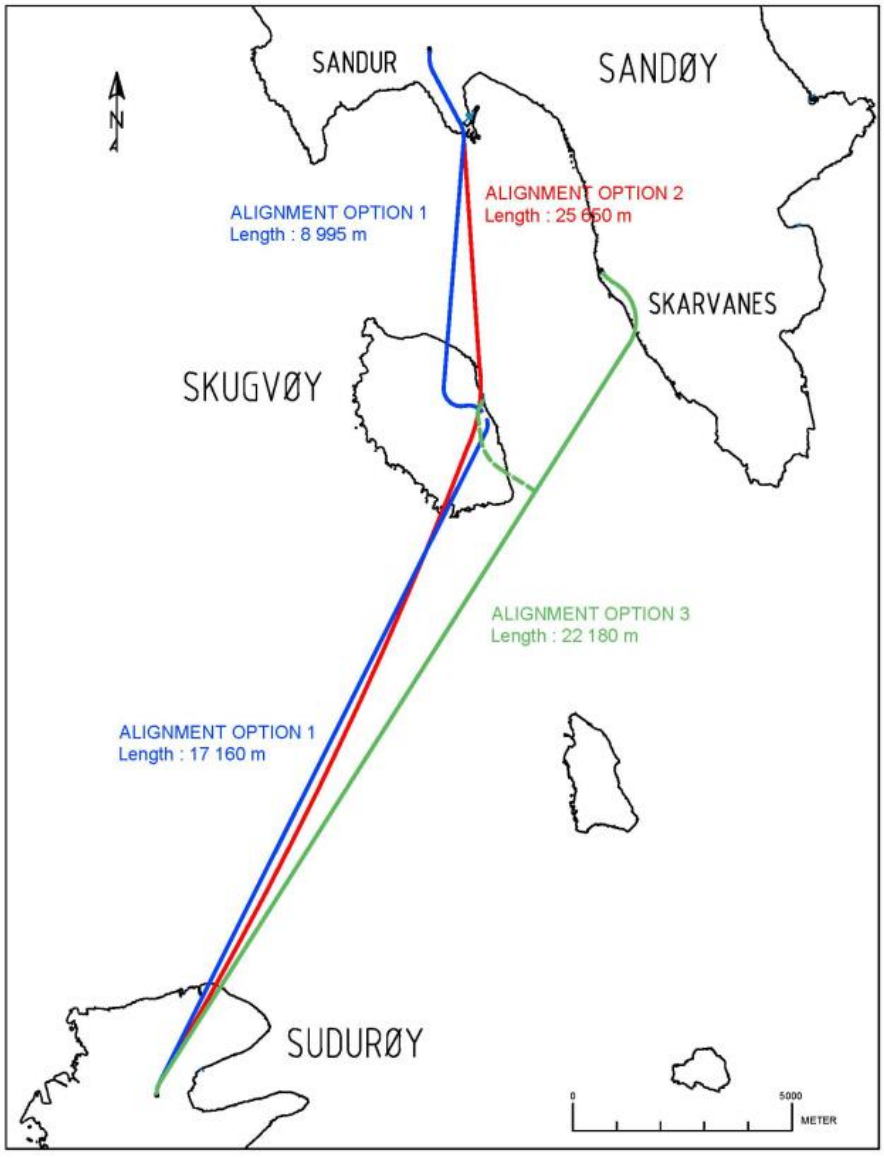
1 Innledning

1.1 Bakgrunn og hensikt

Landsverk, som er vegmyndighet på Færøyene, planlegger en undersjøisk vegforbindelse mellom Sandøy og Sudurøy, sør på Færøyene. Forbindelsen planlegges med ett løp, dvs. med tovegs trafikk i én tunnel og uten parallell redningstunnel. Minste lengde for en slik tunnel er på ca. 22 km som vist i Figur 1-1.

Tunnelalternativene 1, 2 og 3 i figuren er hentet fra Norges Geotekniske Institutts rapport «Sudurøy subsea road tunnel, executive study»[1]. I tillegg utredes et tunnelalternativ 4 med avgreining med veg til Skugvøy med tilsvarende plassering og lengde som vist for alternativ 3.

Denne rapporten gir en overordnet og kortfattet fremstilling av brannrisiko og risikoreduserende tiltak i forbindelse med bygging av tunneler.



Figur 1-1: Tunnelalternativer som er med i studien

1.2 Omfang og avgrensninger

- Denne rapporten presenterer overordnede betraktninger av brannrisiko forbundet med tunneldriving. Det fokuseres hovedsakelig på tunneldriving med boring og sprengning før gjennomslag.

2 Regelverk, veiledere og bransjenormer

2.1 Norsk Regelverk

Brannsikkerhet i forbindelse med tunneldriving i Norge er regulert gjennom flere ulike lover og forskrifter som fokuserer på blant annet sikkerheten for arbeidstakere og plikter til virksomhetene.

Det meste av regelverket er av en mer generell karakter hvorav behov for risikovurderinger ofte er gjentagende punkt i de ulike regelverkene.

Noen sentrale føringer og forskrifter er:

- Byggherreforskriften [2]. Denne fokuserer på Byggherrens og de prosjekterendes plikter og viser til blant annet risikovurderinger.
- Arbeidsmiljøloven [3] regulerer blant annet sikkerhet på arbeidsplasser og relevante forskrifter vist under som vil regulere brannsikkerheten.
- Internkontrollforskriften [4]. Angir blant annet behov for risikovurderinger i virksomheter.
- Forskrift om utførelse av arbeid [5]. Denne forskriften har et eget kapittel om bergarbeid med underkapitler om «*beskyttelse mot brannfare ved bergarbeid»* og *«Rømnings- og redningsutstyr ved bergarbeid».* I disse spesifikke kapitlene er det angitt noen spesifikke føringer for å ivareta brannsikkerheten ved blant annet tunneldriving:
    - Arbeidsgiver skal sørge for alarmsystemer og andre kommunikasjonsmidler for å iverksette rømnings- og redningsoperasjoner
    - Det skal finnes et system for å vite hvilke arbeidstakere som oppholder seg under jord
    - Det skal iverksettes tiltak for å stanse ethvert brannutbrudd
    - Mengden brennbart materiale skal begrenses
    - Hydrauliske væsker skal ha begrenset brennbarhet
    - Arbeidsgiver skal sørge for rømnings- og redningsutstyr.
    - Åndedrettsvern skal være innen rekkevidde slik at arbeidstakerne kan trekke seg ut i sikkerhet
    - Restriksjoner rundt varmearbeider i nærhet av brannfarlig- og eksplosjonsfarlige stoffer
    - Det skal være nødbelysning, alternativt benyttes personlige lykter
    - Organisatoriske føringer for egen redningsinnsats samt trening og øvelser
    - Det kommenteres at redningskammer kan være nødvendig hvor følgende er viktig for å ivareta betryggende sikkerhet:
        - kammeret har sikker tilførsel av ren luft

- ledninger for luft og trykkluft har avstengningsanordning inne i kammeret
- luftutslipp fra kammeret kan reguleres slik at passende overtrykk i kammeret holdes
- temperaturen i kammeret kan holdes på et rimelig nivå
- kammeret har telekommunikasjon med bemannet sted over jord
- kjøretøy eller brennbare materialer og kjemikalier ikke plasseres så nær at kammerets funksjon kan ødelegges

2.2 Norske veiledere og bransjenormer

Det eksisterer ingen egne norske veiledere som kun håndterer brannrisiko, men håndbokserien til Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk håndterer ulike aspekter ved sikkerhet ved arbeid i tunneler inkludert brannsikkerheten.

To av disse håndbøkene fremheves her og inkluderer:

- Håndbok nr. 10. Sikkerhet ved arbeid i tunneler og bergrom. 2016 [6]

  Håndbok nr. 10 inneholder generelle føringer rundt sikkerhet og noen spesifikke føringer rundt brannsikkerhet. Det angis behov for tiltak for beredskap som sammenfaller med tiltakene fra Forskrift om utførelse av arbeid beskrevet i forrige kapittel 2.1. Her angis det blant annet at redningscontainere alltid skal vurderes avhengig av risiko ved tunnellengder over 500 m og at relevant sikkerhetsinformasjon gis til arbeidstakerne.
  Håndboken angir også at trafoer ikke plasseres nær brannfarlige objekter eller redningsrom. Samt behov for brannslokkeutstyr og selvreddermasker i alle kjøretøy og maskiner. I tillegg bør man ha slokkeutstyr ved alle brannobjekt i tunnelen (kabeltromler, trafo, pumpecontainere mm). Det angis brannvannsuttak på vannledning i nisjer/havarilommer. Brannsikring i forbindelse med PE skum med avsperring av området og forbud mot bruk av ild.

  Håndboken inneholder også anbefalte rutiner for adferd, herunder blant annet og la ventilasjonen gå så lenge som mulig basert på arbeid fra eksperimentelt arbeid fra tidligere Norsk Brann Laboratorium.

- Håndbok nr. 12. Redningskammer for underjordsdrift. 2021 [7]

  Håndbok nr. 12 angir både funksjonskrav og detaljerte ytelser for utførelse av redningskammer med en anbefaling om plassering minimum innfor 400 m fra stuff og minimum 25 m fra mulig antennelseskilder.

  Funksjonskravene for redningsrommene omfatter blant annet:

  - Oppholdstid
  - Luftkvalitet
  - Temperaturkontroll
  - Strømforsyning
  - Kommunikasjon

  Disse kravene gir utrykk for en detaljert utforming og dimensjonering av rommene angitt i håndboken.

2.3 Andre Europeiske føringer og relevant litteratur

I likhet med begrensede Norske føringer er det også få internasjonale regelverk/veiledninger som har hovedfokus på brannsikkerhet. Det er derimot en mer omfattende veiledning for sikkerhet og brannsikkerhet ved tunnelarbeid i Tyskland, Østerrike og Sveits. Dette regelverket inneholder mange av de samme tiltakene og rutinene som beskrevet i kap. 2.1 og 2.2, men med mer utdypende og detaljerte og til dels konservative føringer.

Andre kilder til relevant informasjon inkluderer en større studie med fokus på brannsikkerhet ved tunnel driving fra Sverige [8]. Dette prosjektet inkluderte eksperimentelt arbeid, simuleringer, undersøkelser på arbeidsplasser og vurdering av brannvesenets innsats. Store deler av denne rapporten støtter seg på informasjon fra dette prosjektet.

3 Risiko forbundet med arbeid under jord og tunneldriving

3.1 Ulike faser og forutsetninger i tunnelarbeidet

Brannrisiko i et tunnelprosjekt vil variere avhengig av hvilken teknikk man benytter for tunneldriving og hvilken fase tunnelarbeidet er i. Tunnelarbeider på verdensbasis utføres ofte med tunnelboremaskiner (TBM), som er et større mekanisk system for uttak av masser som kan legge betongelementer i takt med boring. Denne arbeidsmetoden vil brannteknisk skille seg fra den mer tradisjonelle metoden i Norge med boring og sprengning «Drill and Blast». Med TBM vil det være en større fast installasjon som kan sikres særskilt samt ha tilgjengelig fastmontert utstyr og installasjoner for brann og redning. I denne rapporten fokuseres det primært på tunneldriving som innebærer boring og sprengning i fjellmasser som også er vurdert mer gunstig i Norge ved etablering av undersjøiske tunneler [9].

Videre vil fasen før og etter gjennomslag utgjøre to forskjellige forutsetninger for brannsikkerheten.

Før gjennomslag vil ventilasjon, rømning og redning dikteres av at det normalt er kun én tilkomsttunnel til arbeidsstedene. Dette medfører at all evakuering og luftstrømmer må foregå i retning mot tunnelmunningen. I denne fasen vil også ofte arbeidet karakteriseres av grøvre arbeid hvor arbeid med overflater, lys og andre installasjoner gjenstår. Etter gjennomslag endres forutsetningene da luftstrømmer, evakuering og redningsinnsats kan foregå i to retninger. I senere faser vil også tunnelene fremstå nærmere den ferdige tunnelen med overflater, lys og evt. andre sikkerhetsinstallasjoner. Det må også forventes ulike entrepriser og arbeidere som har ulik kjennskap til tunnelarbeid i forhold til tidligere arbeid før gjennomslag.

I dette arbeidet fokuseres det primært på den første fasen før gjennomslag.

3.2 Sannsynlighet for brann, hva forteller erfaringen

Det dokumenterte erfaringsgrunnlaget og statistikken relatert til brannrisiko i konstruksjonsfasen av tunneler, er begrenset. Det er derimot beskrevet i en større studie [8] og i relevante veiledninger [7] at brann er en hyppig forekommende hendelse hvor sannsynligheten for brann kan være større ved tunneldriving enn når tunnelen tas i bruk.

I den større studien gis noen eksempler på større branner som er inntruffet og [7] peker blant annet på varme arbeider og brann i maskiner eller annet utstyr som de største årsakene til antennelse.

I forbindelse med gruvedrift er det registrert flest branner i forbindelse med kjøretøy, hvorav elektrisk utstyr og varmearbeider fremheves som andre årsaker til antennelse[10] [11].

3.3 Faktorer som påvirker konsekvenser ved brann

3.3.1 Brannscenarioer

Konsekvenser ved brann vil i stor grad avhenge av hvilket objekt som først antenner. Spredning av hydraulikk under trykk med påfølgende antennelser er beskrevet som en av de hyppigst forekommende brannscenarioene. Dette kan naturlig forekomme i forbindelse med noen av maskinene/kjøretøyene som benyttes ved boring eller transport av masser. Disse har normalt større dekk som utgjør en kilde til både større branneffekter og kraftig røykutvikling. Estimerte branneffekter for slike kjøretøy antent etter en lekkasje av hydraulikkolje, er i størrelsesorden 10-12 MW for dumpere og hjullastere, med en hurtig brannutvikling opp til i størrelsesorden 2 MW, grunnet hydraulikkoljen for deretter å få en langsom brannvekst opp til maks effekt. Varigheten av disse brannene er estimert til i størrelsesorden 2-3 timer. Maskiner for boring har for øvrig en forventet effekt som er omtrent halvparten av dumpere og hjullastere [8]. Eksperimentelt arbeid for tilsvarende maskiner i forbindelse med gruvedrift viser lignende størrelser for en dumper, men omtrent dobbel branneffekt for maskiner for boring og sprengning. Dette kan trolig være relatert til noe ulike størrelser på disse maskinene som benyttes og er vurdert/testet [11].

Større personbiler av typen pick-up kan også være sannsynlige og estimeres å gi branneffekter opp mot 10 MW med noe raskere brannvekst enn i øvrige maskiner[8].

I litteraturen fokuseres det også på brann i brennbare isolasjonsmaterialer. Dette er materialer som hurtig kan avgi store branneffekter og mye røyk. Ingason estimerer [8] effekter på 0,5 MW/m^2 isolasjon, som tilsier effekter i størrelsesorden 10-20 MW per løpemeter, for ordinære tunneler. Disse brannene kan derav hurtig gi kritiske forhold og må derfor begrenses med tilgjengelig slokkemateriell.

Øvrige scenarioer som beskrives i litteraturen inkluderer brann i transformatorer, brann i elektrisk utstyr og brann i forbindelse med varmearbeider.

3.3.2 Brann-og røykspredning og påvirkning av ventilasjon

Røykspredning forventes å øke i omfang med økte branneffekter, økt helning på tunnelen og økt størrelse på eventuell ventilasjon. I tillegg til dette avhenger ventilasjonsstrømninger og røykspredning av hvorvidt det er gjennomslag eller ikke. Størrelse på tunnelens tverrsnittsareal er også en vesentlig faktor for egenskaper til røyken. Desto større tverrsnittsareal, desto mer tynnes røyken ut for giftige forbrenningsprodukter og desto lavere temperaturer og tilbakestråling genereres fra røyk og eventuelle flammer.

Etter gjennomslag vil naturlige drivkrefter som vind og oppdrift kunne påvirke strømninger i større grad, men dette kan reduseres med lengde på tunnelen da friksjonskrefter bremser naturlige strømninger. Ventilasjon før gjennomslag er ofte i størrelsesorden 0,5-1 m/s, og med brannstørrelser som angitt for flere kjøretøy, forventes det at de evakuerende kan bevege seg i forkant av røykfront.

Ventilasjon i tunneler etableres ofte med brennbare kanaler som må forventes usatt ved større branneffekter. Det er derimot noe ulike konklusjoner i litteraturen hvorvidt ventilasjonen bør fortsette å gå ved brann. Enkelte norske studier peker på at forholdene rundt stuff kan forbedres ved fortsatt ventilasjon hvis brannen er et stykke fra både stuff og punktet for utblåsing[12]. Det er samtidig nyere svenske studier [8] som peker på at branner hurtig kan bli ventilasjonskontrollert før gjennomslag, slik at fortsatt ventilasjon kan medføre en økning i branneffekt. De svenske studiene anbefaler derav generelt å stoppe ventilasjonen.

3.3.3 Evakuering og redningsrom

Prinsipper for evakuering vil som nevnt endres etter gjennomslag da evakuering kan foregå i to retninger.

Her fokuseres det primært på evakuering før gjennomslag og uten eventuelle parallelle tunneler som kan benyttes til rømning. Evakuering i tunnelomgivelser kan være krevende med begrenset lys, ujevne overflater, støyende omgivelser og dårlig oversikt med flere installasjoner som kan endres over tid. Ved en evakueringssituasjon er det viktig at arbeidere på arbeidsstedet får tidlig varsel og reagerer hurtig. Ved lange tunneler vil det også være transportmidler/biler som benyttes ved normal drift som også må være tilgjengelig ved evakuering.

Evakueringscenarioet og behov for redningsrom/redningscontainer avhenger naturlig av hvor brannen oppstår og hvorvidt det er gjennomslag. Som beskrevet i kap. 3.3.2 kan man normalt evakuere hurtigere enn hastigheten på røykspredningen. Ved brann langt fra arbeidsstedet før gjennomslag, kan det derimot være utfordrende å passere brannen og rømme vekk fra røyken og man må søke tilflukt i et redningsrom/redningscontainer i påvente av redning fra innsatspersonell. Dimensjonering av disse rommene/containerene må derav reflektere dette.

Et viktig prinsipp i ulike føringer er avstand til nærmeste sikre steder fra arbeidsstedene, som kan være avstanden til en utgang eller til et redningsrom/redningscontainer. Ulike regelverk og føringer for denne avstanden avhenger av brannrisikoen og varierer i størrelsesorden 200-500 m og i enkelte tilfeller enda lenger. Ingason [8] peker spesielt på tverrsnittsarealet som et vesentlig parameter for å bestemme denne avstanden.

3.3.4 Redningsinnsats

Prinsipper og forutsetninger for brannvesenets redningsinnsats er svært ulike før og etter gjennomslag.

Brannvesenets muligheter for innsats avhenger i stor grad hvorvidt det er røykfylte omgivelser med dårlig sikt. Det vil være opp til den lokale innsatslederen/røykdykkerlederen hvilken strategi brannvesenet skal velge for innsats. Hvorvidt det er behov for redning av mennesker i tunnelen vil veie tungt i valg av en mer aktiv strategi. Det er derav essensielt at personer tilknyttet tunnelprosjektet er tilgjengelig for å gi innsatslederen nødvendig informasjon.

Gitt at det ikke eksisterer parallelle løp, vil brannvesenet normalt møte en røykfront ved innsats før gjennomslag. Dette gjør en aktiv slokkeinnsats svært vanskelig ved større branner før gjennomslag. Ingason [8] beskriver at hvis tett røyk har rukket å spre seg mer enn 200 m er det lite sannsynlig for brannmannskaper å nå brannen.

4 Tiltak

Tiltakene som iverksettes må naturlig nok gjenspeile brannrisikoen i den aktuelle tunnelen. Noen generelle tiltak, som eksempelvis angitt i Norsk regelverket og veiledere gjengitt i kap. 2.1 og 2.2, vil naturlig være aktuelle for de fleste tunnelprosjekter. Betraktningene omkring tiltak kan benyttes i utformingen av krav ved driving av Sudurøytunnelen.

I de neste kapitelene vil tiltakene deles inn i:

- Personlig sikkerhetsutstyr
- Fysiske og tekniske tiltak i tunnelen
- Organisatoriske tiltak

4.1 Personlig sikkerhetsutstyr

Personlige sikkerhetstiltak kan innebære:

- Innretninger for åndedrettsvern
- Radio/kommunikasjonsutstyr
- Tunnellykt
- Beskyttende bekledning

4.2 Fysiske og tekniske tiltak i tunnelen

De fysiske og tekniske tiltakene kan innebære:

- Automatisk eller manuelt aktivert brannalarmsystem
- Nødlys og eventuelt ledesystemer
- Redningscontainere plassert med jevne mellomrom i tunnelen
- Brannslukningsutstyr og evt. kjøretøy med ekstra brannslokningsutstyr.
- Installasjoner for å sikre kommunikasjon i tunnelen og med anlegget utenfor tunnelen
- Systemer for å sikre røykventilasjon (hvis mulig)
- Systemer for registrering av personell i tunnelen
- Slokkevannsutak/brannslanger

4.3 Organisatoriske tiltak

Organisatoriske tiltak vil ofte være regulert av flere regelverk som de også er i Norge.

Som nevnt i tidligere kapitler vedrørende regulerende ytelser, vil ofte en mer systematisk sikkerhetstilnærming med risikovurderinger være grunnlaget for tiltakene og ofte en overordnet plan.

Organisatoriske tiltak kan innebære utarbeidelse av prosedyrer relatert til:

- Øvelser, opplæring og informasjon

- Lagring av materialer og spesielt brannfarlig materiale
- Kontroll av anleggsmaskiners og kjøretøyers tekniske tilstand med vurdering av brannhemmende kvaliteter (eksempelvis hydrauliske væsker) og behov for ytterligere sikkerhetstiltak/lokale slokkeanlegg i disse.
- Adferd ved brann
- Rutiner ved varmearbeider.
- Arbeid med brennbare isolasjonsmaterialer (f.eks. PE-skum) og vurdering av behov for ekstra sikkerhetstiltak i forbindelse med dette. Spesielt viktig dersom installasjon starter før gjennomslag
- Kontroll med hvilke kjøretøyer og personell som til enhver tid er inne i tunnelen
- Rutiner for samkjøring mot brann og redningsetaten

5 Referanser

[1] N. G. I. [H]., «Sudurøy subsea road tunnel, Executive study for the early planning phase, Doc. No. 20210198-01-R, Rev.no.0», 2021.
[2] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *Forskrift om sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygge- eller anleggsplasser (byggherreforskriften)*. 2022. Åpnet: 28. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2009-08-03-1028?msclkid=858aa1e4c6d411eca07ba8867fc8c44c
[3] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven)*. 2022. Åpnet: 28. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-62
[4] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *Forskrift om systematisk helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid i virksomheter (Internkontrollforskriften) - Lovdata*. 2017. Åpnet: 28. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1996-12-06-1127
[5] Arbeids- og inkluderingsdepartementet, *Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid) - Lovdata*. 2022. Åpnet: 28. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-12-06-1357?msclkid=c43c7f03c6d411ec9ada6f6e9bd3d08f
[6] Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk - NFF, «Sikkerhet ved arbeid i tunneler og bergrom Håndbok nr. 10». 2016.
[7] Norsk forening for fjellsprengningsteknikk, «redningskammer for underjordsdrift Håndbok nr. 12». 2021.
[8] H. Ingason, A. Lönnermark, H. Frantzich, og M. Kumm, *Fire incidents during construction work of tunnels*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2010. Åpnet: 28. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-11347
[9] M. G. Solberg, «Derfor drives ikke store norske veitunneler med tunnelboremaskin», *Tu.no*, 26. februar 2015. https://www.tu.no/artikler/derfor-drives-ikke-store-norske-veitunneler-med-tunnelboremaskin/222989 (åpnet 28. april 2022).
[10] R. Hansen, «Overview of fire and smoke spread in underground mines». Åpnet: 28. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.researchgate.net/publication/317613346_Overview_of_fire_and_smoke_spread_in_underground_mines
[11] R. Hansen, «Study of heat release rates of mining vehicles in underground hard rock mines», *ResearchGate*, 2015. https://www.researchgate.net/publication/317612904_Study_of_heat_release_rates_of_mining_vehicles_in_underground_hard_rock_mines (åpnet 28. april 2022).
[12] J. P. Stensaas og P. Aune, «Simulering av brann i tunnel under driving», s. 32.