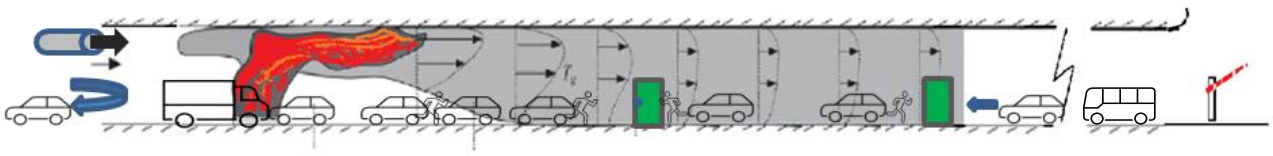
SWECO

NOTAT

RISIKOVURDERING AV LANGSGÅENDE VENTILASJON I SUDURØYTUNNELEN



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

Sammendrag:

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. Denne tunnelen er på ca. 22 km. Dette notatet fokuserer på det sikkerhetsmessige aspektet for tunnelen, og vurderer risiko for brann. Det er tidligere utarbeidet en rapport av Sweco som vurderer ulike tunnelkonsept (trasé, utforming og sikkerhetsutrustning [A] for Landsverk (myndighet for tunnelen). Dette notatet er basert på den tidligere Sweco-rapporten, samt Norconsults risikovurdering fra 2023 [B] utført for selskapet Suðuroyartunnilin P/F (eier av tunnelen).

Hensikten med dette notatet er å gjøre en ny vurdering av om selvbergingsprinsippet er ivaretatt for en tunnel på 22 km med langsgående ventilasjon, uten andre nødutganger enn de to tunnelportalene. Dette er omtalt som alternativ 3 og sikkerhetstiltak 0 i Swecos tidligere risikovurdering [A]. I denne forbindelse gjøres det nye vurderinger av evakueringsmulighet/selvberging ved bruk av langsgående ventilasjon.

Følgende omfang og avgrensninger ligger til grunn for analysen:

- Analysen dekker kun alternativ 3 (22 km tunnel fra Sandøy til Sudurøy) + sikkerhetstiltak 0 (ingen spesiell sikkerhetsutrustning og tiltak utover det som er definert i Statens Vegvesens håndbok N500) [A].
- Analysen ser kun på risiko for brannscenarier i tunnelen. Andre uønskede hendelser er ikke vurdert.
- Analysen dekker kun personrisiko under normaldrift, ikke materielle skader, miljøeffekter eller terrorisme og sabotasje. Personrisiko ved utførelse av vedlikeholdsarbeid i tunnelen dekkes ikke.
- Risikovurderingen legger til grunn at en større brann har oppstått og det er derfor ikke gjort vurderinger av sannsynligheten for at brannen oppstår.

Sweco har sett på tre ulike scenario. Resultatene fra beregningene viser følgende:

- Scenario 1: Ny beregning med identiske inndata og forutsetninger som Norconsult. Ventilasjonen snus etter 30 minutter. Beregningene viser at 2,5 personer vil miste evakueringsevnen i dette scenariet.
- Scenario 2: Sammenligning av tidligere beregninger fra Sweco (T10,5 og ÅDT 1300) med Norconsult sin nye tunnelutforming (T9,5) og ÅDT (2000). Beregningene viser at 94 (Sweco) eller 126 (Norconsult) personer vil miste evakueringsevnen i dette scenariet. I dette scenariet har man sett på konsekvensene ved å ikke snu ventilasjonen.
- Scenario 3: Med forutsetninger fra Norconsult (tunnelutforming, ÅDT, tiltak/ventilasjon og adferd) men med brannscenario og fordeling av trafikk fra Sweco. Ventilasjonen snus etter 30 minutter. Beregningene viser at 12 personer vil miste evakueringsevnen i dette scenariet.

Det er flere prinsipielle forskjeller mellom det beregnede scenarioet fra Norconsult (ny tunnelversjon) og Sweco (tidligere tunnelversjon):

- Valg av brannscenario (plassering og brannvekstkurve) har størst innvirkning på utfallet av analysen.
- Trafikkfordeling og trafikantenes adferd ved en brann.

Ut fra beregningene/vurderingene kan vi konkludere med at brannstrategien som er foreslått i Norconsult sin rapport ikke er forenelig med selvredningsprinsippet. De som evakuerer nedstrøms brannen vil bli fanget i røyk. De som evakuerer oppstrøms brannen vil ha behov for å reddes ut av tunnelen av hjelpemannskap så lenge brannen oppstår mer ca. 2,5-3 km inn i tunnelen, selv under ideelle forhold.

I henhold til Swecos vurderinger gjort i dette notatet er ikke langsgående ventilasjon, uten rømningsrom/-tunnel, en akseptabel løsning da denne løsningen ikke oppfyller selvredningsprinsippet. At flere personer vil miste sin evne til å evakuere, i alle de undersøkte brannscenariene, strider imot «Nullvisjonen» som sier at man skal bygge «et transportsystem som ikke fører til tap av liv eller varig skade» [C].

Rapporteringsstatus:
☐ Endelig
☒ Oversendelse for kommentar
☒ Utkast

Revisjonshistorikk:

00	15.03.24	Første utkast.	NOOLAV, NOMART, NOKRIK, NOUTKI	NOVIDD
Rev.	Dato	Beskrivelse	Utformet av	Kontrollert av

Innholdsfortegnelse

1 Innledning 5
1.1 Bakgrunn 5
1.2 Hensikt 5
1.3 Omfang og avgrensninger 5
1.4 Terminologi og forkortelser 5
2 Beskrivelse av analyseobjekt 6
2.1 Valgt trasé 6
2.2 Tunneldata og tunnelprofil 7
2.3 Sikkerhetstiltak og -utrustning 8
2.4 Beredskap 13
3 Selvredningsprinsippet 15
4 Risikovurdering 16
4.1 Vurdering av foreslått strategi for brannventilering 16
4.1.1 Generelt 16
4.1.2 Evakuering nedstrøms 18
4.1.3 Evakuering oppstrøms 20
4.1.4 Konklusjon av vurdering av foreslått strategi for brannventilering 22
4.2 Vurdering av evakueringsdyktighet 22
4.2.1 Beskrivelse av metode for beregning av evakueringsdyktighet 22
4.2.2 Forutsetninger og inndata for brann 22
4.2.3 Resultater beregning av evakueringsdyktighet 25
4.2.4 Kommentarer til beregninger og resultater 27
5 Diskusjon 28
6 Konklusjon og anbefaling 30
7 Referanser 31

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

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. Denne tunnelen er på ca. 22 km.

Dette notatet fokuserer på det sikkerhetsmessige aspektet for tunnelen, og vurderer risiko for brann. Det er tidligere utarbeidet en rapport av Sweco som vurderer ulike tunnelkonsept (trasé, utforming og sikkerhets-utrustning [A]) for Landsverk (myndighet for tunnelen). Dette notatet er basert på den tidligere Sweco-rapporten, samt Norconsults risikovurdering fra 2023 [B] utført for selskapet Suðuroyartunnilin P/F (eier av tunnelen).

1.2 Hensikt

Hensikten med dette notatet er å gjøre en ny vurdering av om selvredningsprinsippet er ivaretatt for en tunnel på 22 km med langsgående ventilasjon, uten andre nødutganger enn de to tunnelportalene. Dette er omtalt som alternativ 3 og sikkerhetstiltak 0 i Swecos tidligere risikovurdering [A]. I denne forbindelse gjøres det nye vurderinger av evakueringsmulighet/selvredning ved bruk av langsgående ventilasjon.

1.3 Omfang og avgrensninger

Følgende omfang og avgrensninger ligger til grunn for analysen:

- Analysen dekker kun alternativ 3 (tunnel fra Sandøy til Sudurøy) + sikkerhetstiltak 0 (ingen spesiell sikkerhetsutrustning og tiltak utover det som er definert i Statens Vegvesens håndbok N500) [A].
- Analysen ser kun på risiko for brannscenarier i tunnelen. Andre uønskede hendelser er ikke vurdert.
- Analysen dekker kun personrisiko under normaldrift, ikke materielle skader, miljøeffekter eller terrorisme og sabotasje. Personrisiko ved utførelse av vedlikeholdsarbeid i tunnelen dekkes ikke.
- Risikovurderingen legger til grunn at en større brann har oppstått og det er derfor ikke gjort vurderinger av sannsynligheten for at brannen oppstår.

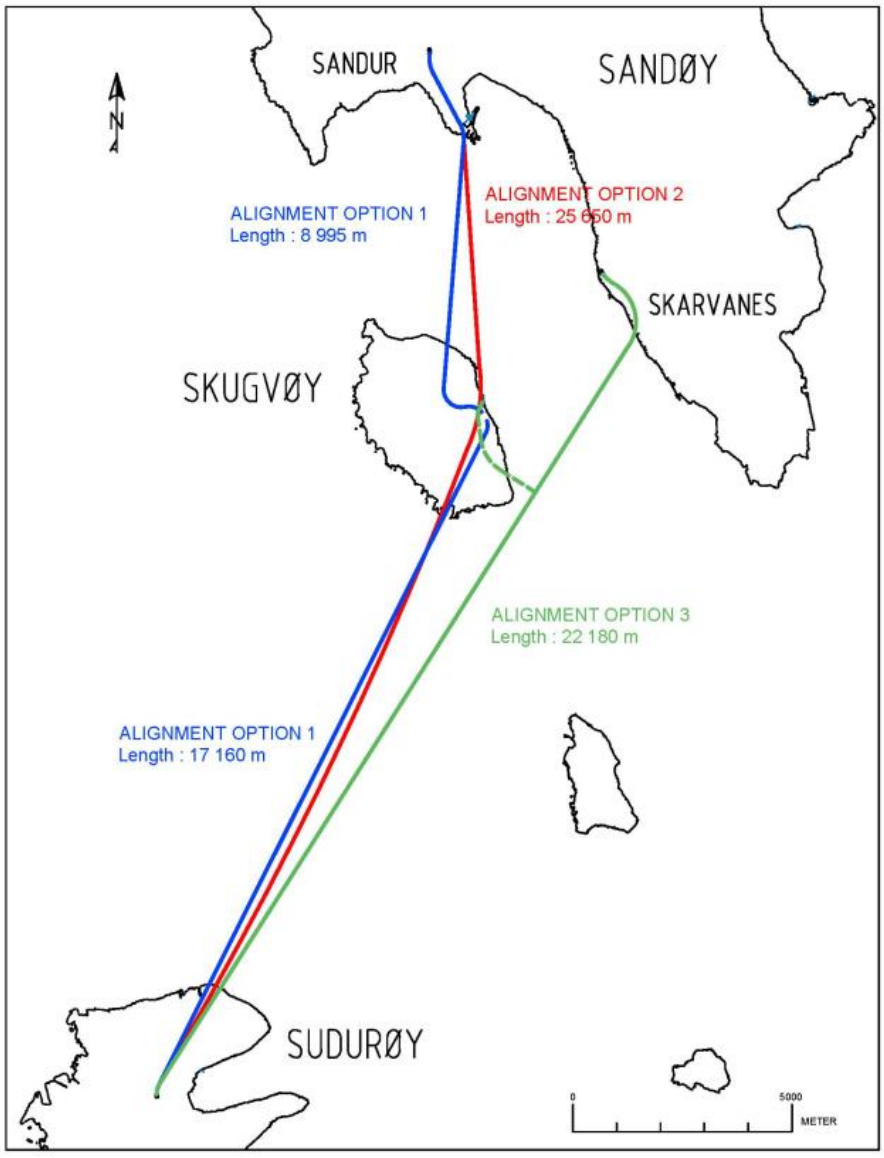
1.4 Terminologi og forkortelser

Forkortelse	Forklaring
SVV	Statens vegvesen
VTS	Veitrafikksentralen
ÅDT	ÅrsDøgnTrafikk- gjennomsnittlig antall kjøretøy per døgn
SHK	Statens havarikommisjon
TSF	Tunnelsikkerhetsforskriften
FED	Fractional Effective Dose

2 Beskrivelse av analyseobjekt

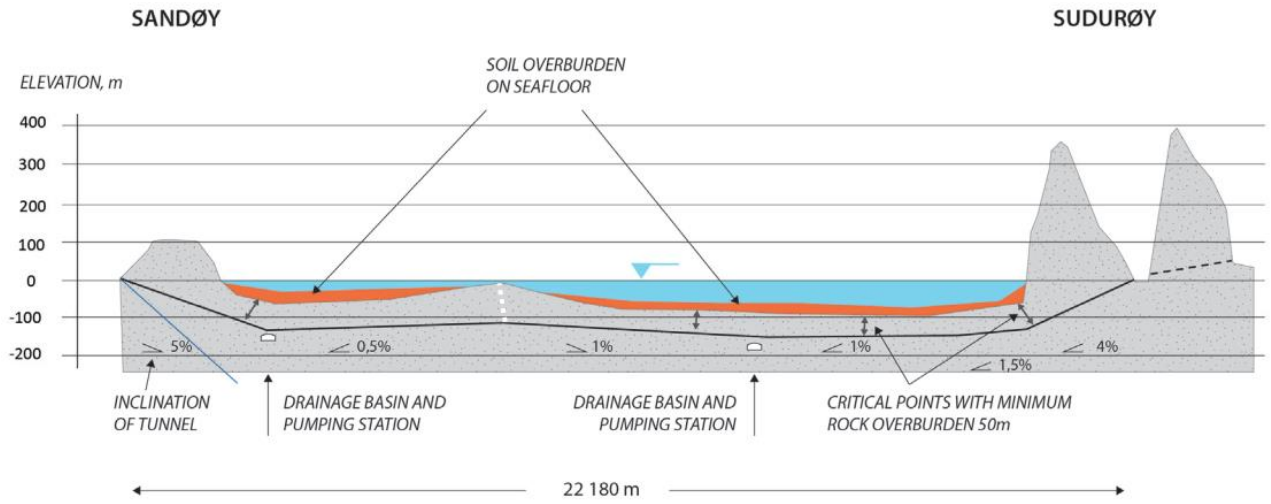
2.1 Valgt trasé

Opprinnelig ble det vurdert ulike alternativer for tunnelen, se Figur 2-1. Alternativ 3 er valgt som løsning og det er kun dette alternativet som vurderes i dette notatet.



Figur 2-1: Tunnelalternativer som er med i studien [D].

Valgt alternativ (tunnelalternativ 3): Korteste alternativ. Tunnelen blir 22,2 km lang, se Figur 2-2. Langsgående ventilasjon er valgt som ventilasjonsprinsipp. Tidligere ble det vurdert ventilasjon mot Skugvøy. Dette er det nå gått bort ifra.



Figur 2-2: Figuren viser lengdetverrsnitt av valgt alternativ.

2.2 Tunneldata og tunnelprofil

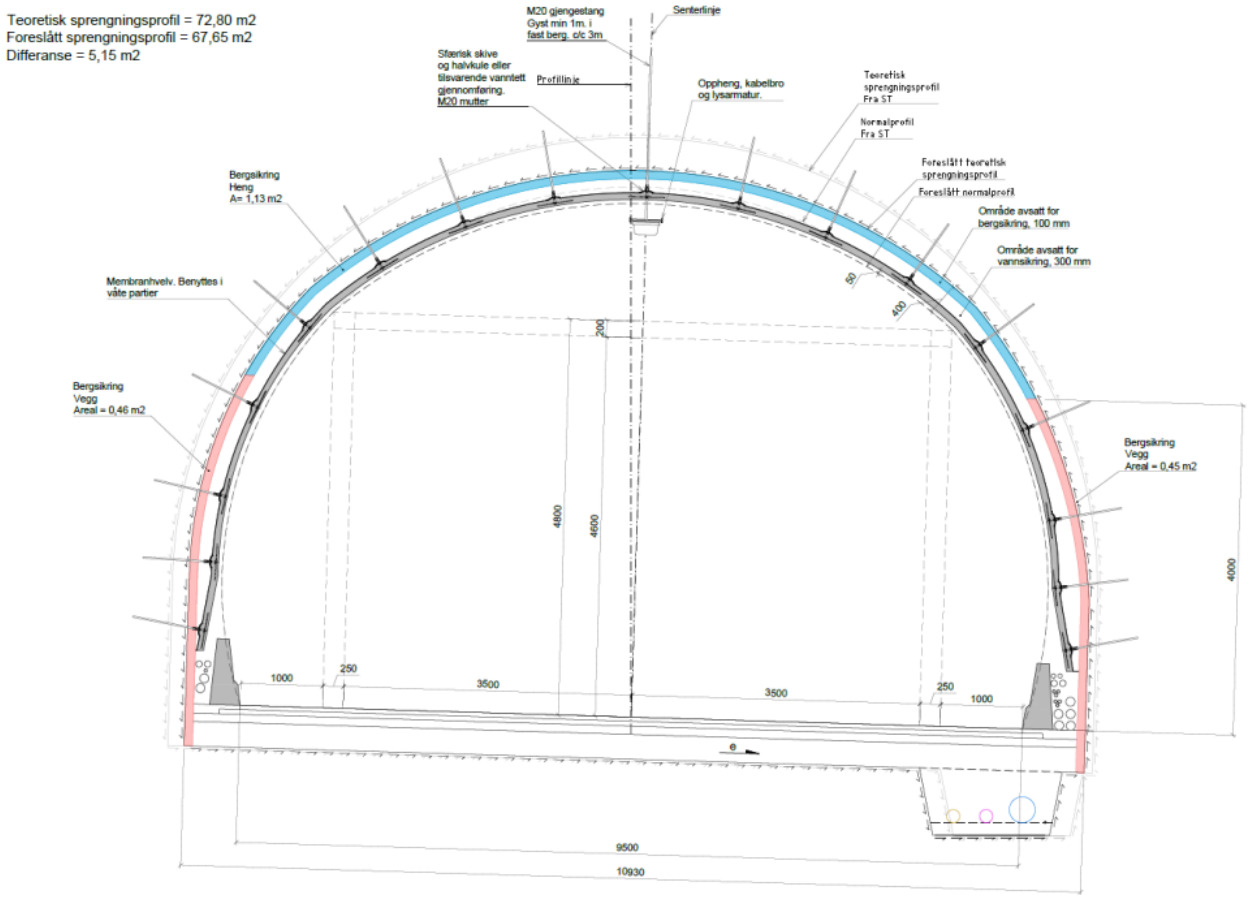
Nøkkeldata for tunnelen er hentet direkte fra Norconsult sin rapport [B], se Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Nøkkeldata.

Tunnelnavn	Suðuroyartunnilin	Kommentar
Lengde	22 818 meter	Inkludert portalkonstruksjoner
ÅDT (2050)*	2000	Basert på tall fra trafikkanalysen [5]
Tungtrafikkandel (2050)**	7 %	Basert på tall fra trafikkanalysen [5]
Fartsgrense	80 km/t	Gjennomsnittlig kjøretid gjennom tunnelen er ca. 17 minutter.
Tunnelklasse	B	
Tunnelprofil	T9,5	
Kjørebanebredde	2 x 3,5	
Fri høyde	4,6 meter	
Antall ramper	0	
Max stigning	5 %	Ca. 2 km med 5 % stigning mot portal Sandøy og ca. 3 km med 5 % stigning mot Suðuroyar, ellers ca. +/- 1 %

**Risikoanalysen skal iht. N500 gjennomføres med utgangspunkt i ÅDT 20 år etter åpningstid. I Sweco sin rapport [1] legges det til grunn ÅDT (2030) på 1300 kjt. Trafikkprognosen i «Vurdering af trafikkmodel og mulig trafik i Suðuroyartunnilin» [5] er imidlertid utført for år 2050. Fremskrevet trafikkprognose med ÅDT (2050) på 2000 kjt. legges til grunn. Det bemerkes at det er usikkerhet i fremskrivingen av trafikk.*
***Tungtrafikkandelen på strekningen er basert på tilgjengelig tungtrafikkandel ifølge Sweco sin rapport [1]. Det foreligger ikke prognoser/estimater for fremtidig tungtrafikk.*

I Norconsults rapport står det at tunnelen planlegges med tunnelprofil T9,5 [B], mens det i Sweco sin rapport var tunnelprofil T10,5 [A].



Figur 2-3: Tunnelprofil 9,5 [B].

2.3 Sikkerhetstiltak og -utrustning

I Norconsult sin rapport er det vist en oversikt over sikkerhetstiltak og -utrustning for tunnelen som legges til grunn for deres risikovurdering. En gjengivelse av denne oversikten er gitt i Tabell 2-2.

Tabell 2-2: Oversikt over sikkerhetstiltak og -utrustning [B].

Tiltak	Beskrivelse	Sweco sine kommentarer
Havarinisjer	Iht. TSF skal det i nye toveistunneler som er lengre enn 1.500 meter og der trafikkvolumet er større enn 2.000 kjøretøy per kjørefelt, finnes havarilommer med ikke mer enn 1.000 meters mellomrom, dersom det ikke finnes havarifelt. Det etableres havarinisjer hver 500 meter (± 50 meter) og snunisjer hver 2000 meter (± 50 meter) iht. N500.	Ingen bemerkninger.
Belysning	Iht. TSF skal det finnes normal belysning for å sikre hensiktsmessig sikt for	Ingen bemerkninger.

Tiltak	Beskrivelse	Sweco sine kommentarer
	sjåførene dag og natt i tunnelåpningene og inne i tunnelen. Tunnelen utstyres med belysning iht. N500.	
Sikkerhetsbelysning	Iht. TSF skal det finnes sikkerhets-belysning som sikrer en minimumssikt for trafikanter i tunnelen slik at de kan evakuere tunnelen i kjøretøyene sine i tilfelle av strømbrudd. Tunnelen utstyres med nødstrømsystem som er operativt minimum 1 time + utrykningstid iht. N500.	Ingen bemerkninger.
Evakueringsbelysning	Iht. TSF skal det finnes evakuerings-belysning, som lysende evakueringsmerking, i en høyde av ikke mer enn 1,5 meter, som veileder trafikantene i tunnelen ved evakuering til fots i en nødssituasjon. Sammenhengende evakuerings-belysning etableres iht. N500.	Ingen bemerkninger.
Ventilasjon	Iht. TSF skal det være montert et mekanisk ventilasjonssystem i alle tunneler som er lengre enn 1.000 meter med et større trafikkvolum enn 2.000 kjøretøy per kjørefelt. Ventilasjon dimensjonert for en 50 MW brann iht. N500.	Se vurdering angående langsgående ventilasjon i kap. 4.
Nødstasjoner	Iht. TSF skal nødstasjoner være plassert i nærheten av portalene og innvendig, med mellomrom som i nye tunneler ikke skal overstige 150 meter og som i eksisterende tunneler ikke skal overstige 250 meter. Videre skal nødstasjoner minst være utstyrt med en nødtelefon og to brannslokkingsapparater. Nødstasjoner etableres hver 125 meter iht. N500.	Ingen bemerkninger.
Vannforsyning	Iht. TSF skal det finnes vannforsyning i alle tunneler. Det skal finnes hydranter i nærheten av portalene og innvendig, med mellomrom som ikke skal overstige 250 meter. Dersom vannforsyning ikke er tilgjengelig, er det påbudt å sikre at	Ingen bemerkninger.

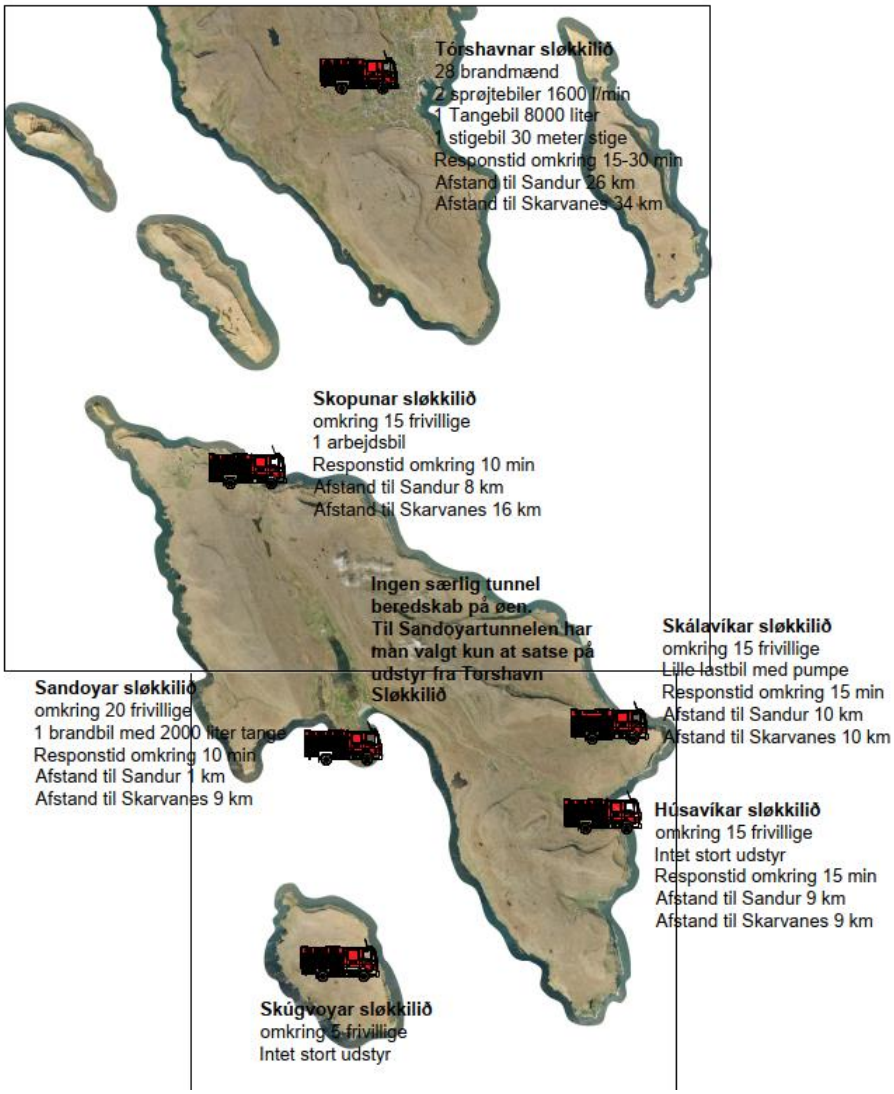
Tiltak	Beskrivelse	Sweco sine kommentarer
	tilstrekkelig vannmengde er tilgjengelig på annen måte. Det er ikke planlagt at det etableres trykksatt slokkevann i tunnelen. Brannslokking skal ivaretas med tankvogner/-biler. Kapasitet på slokkevann på begge sider av tunnelen må vurderes videre i prosjektet. I tillegg bør det vurderes alternativer for etterfylling i tilknytning til portalen dersom det er langt til nærmeste påfyllingspunkt.	
Kontrollsentral	Iht. TSF skal det finnes en kontrollsentral for alle tunneler som er lengre enn 3.000 meter med et større trafikkvolum enn 2.000 kjøretøyer per kjørefelt. Det forutsettes at tunnelen er tilkoblet en døgnbemannet kontrollsentral.	Per i dag er det ingen kontrollsentral knyttet til tunnelen.
Overvåkningssystemer	Iht. TSF skal videoovervåkingssystemer og et system som automatisk kan oppdage hendelser i trafikken som kjøretøy som stanser og/eller brann, være montert i alle tunneler som er utstyrt med kontrollsentral. Det etableres full kameradekning i tunnelen og automatisk hendelses-deteksjon (AID) iht. N500.	
Kommunikasjons-systemer	Iht. TSF skal utstyr for radiosending via relé til bruk for redningstjenestene monteres i alle tunneler på mer enn 1.000 meters lengde og som har et større trafikkvolum enn 2.000 kjøretøy per kjørefelt. Videre må det, når det finnes en kontrollsentral, være mulig å avbryte eventuell sending av radiokanaler beregnet på trafikantene i tunnelen for å sende nødmeldinger. Det etableres nødnett og kringkasting i tunnelen. I henhold til N500 skal det etableres PA-system i alle ettløpstunneler over 5 km i tunnelklasse B (dette er ikke krav i TSF).	Antar at det er kontrollsentralen som skal gjennomføre kringkasting i tunnelen. Dersom man ikke har en kontrollsentral, faller denne varslingen bort. Dette er kritisk for å styre trafikanter ved en hendelse i tunnelen. Sweco stiller seg kritiske til at tunnelen skal bygges uten PA-anlegg. Erfaringer fra tunnelbranner viser at det er viktig med tidlig

Tiltak	Beskrivelse	Sweco sine kommentarer
	I denne analysen er det lagt til grunn at tunnelen bygges uten PA-anlegg. Se vurdering i kapittel 6 i [B].	varsling til trafikantene for at de skal komme seg ut av tunnelen raskt.
Strømkretser	Iht. TSF skal strøm-, måle- og kontrollkretser være konstruert på en slik måte at lokal svikt, for eksempel på grunn av brann, ikke påvirker uberørte kretser. Det forutsettes at det etableres tosidig strømforsyning til alle tekniske rom for Suðuroyartunnilin.	
Havari- og snunisjer	Havari- og snunisjer tilpasses lokale forhold som bergforhold og geometri. Havarinisjer utformes standard med 30 meter havarilomme med 3 meter ekstra kjørefeltbredde, samt 30 meter overgangsprofil i begge retninger mellom hovedløpprofil og havarinisje (i henhold til krav 4.5.1-2 i N500).	
Høydehinder	I tillegg etableres det høydehinder ved tunnelportaler iht. N500.	
Utstyr til stenging av tunnel	I henhold til TSF skal det i alle tunneler på mer enn 1.000 meters lengde være montert trafikklys foran åpningene slik at tunnelen kan stenges i nødstilfeller. Ekstra midler, som stillbare meldingsskilt og bommer, kan benyttes for å sikre at instruksene overholdes. Videre er det anbefalt i alle tunneler på mer enn 3.000 meters lengde, som er utstyrt med kontrollsentral og som har et større trafikkvolum enn 2.000 kjøretøy per kjørefelt, å benytte utstyr til å stanse kjøretøy i nødstilfeller, med mellomrom på ikke mer enn 1.000 meter. Dette utstyret skal bestå av trafikklys og eventuelt ekstra midler, som høyttalere, stillbare meldingsskilt og bommer. I henhold til N500 skal behov for fjernstyrte bommer og tilhørende rødt stoppblinksignal vurderes gjennom risikoanalysen for tunneler i tunnelklasse B.	
Nødutganger	I henhold til TSF er det ikke krav til nødutganger siden trafikkvolumet er	Se kap. 4 for vurderinger.

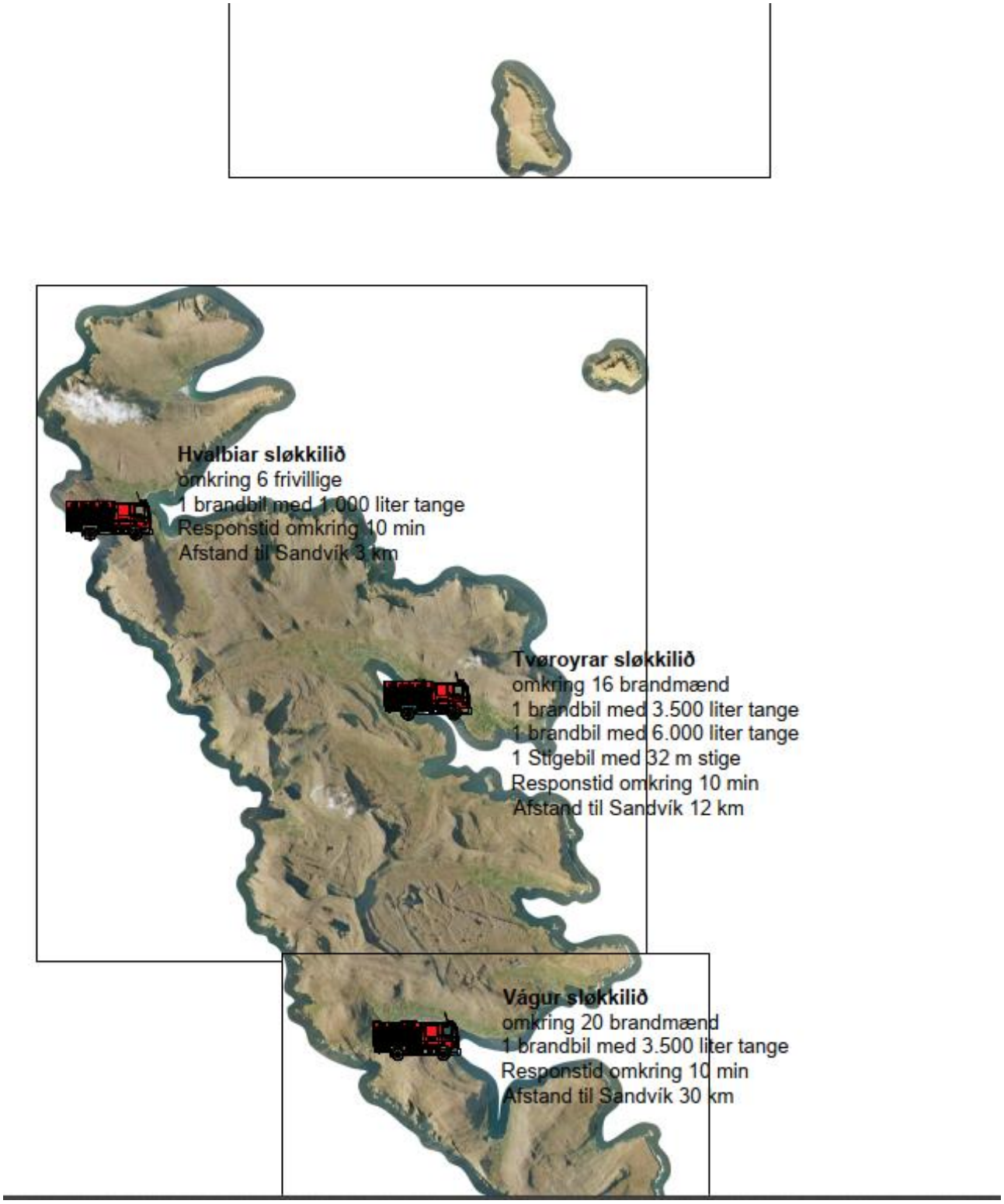
Tiltak	Beskrivelse	Sweco sine kommentarer
	under 2000 kjøretøy per kjørefelt, men nødutganger skal etableres dersom øvrige sikkerhetsanlegg ikke er tilstrekkelig til å ivareta trafikantenes sikkerhet.	
Avløpssystem	Dersom det er tillatt med transport av farlig gods, skal det, i henhold til TSF, finnes avløp for brannfarlige og giftige væsker, gjennom godt utformede sluk eller andre tiltak innenfor tunnelens tverrprofil. I tillegg skal avløpssystemet være konstruert og skal vedlikeholdes for å hindre at brann og brannfarlige og giftige væsker sprer seg inne i løp og mellom løp.	
Ventilasjonsanlegg	Ventilasjonen dimensjoneres for en 50 MW brann iht. krav i N500. Oppstart av vifter vil normalt skje i samme retning som den naturlige trekkretningen i tunnelen, som regel i dominerende trafikkretning. Styring av ventilasjonsanlegget ved brann er ikke besluttet i denne fasen av prosjektet, så det er foreløpig lagt opp til at dimensjoneringskriteriet (50 MW) skal ivaretas gjennom hele tunnelen, i begge retninger.	

2.4 Beredskap

Landsverk har laget en oversikt som viser hvor brannvesen er lokalisert på Færøyene, samt antall brannmannskaper og hvilket utstyr som er plassert på de ulike lokalisasjonene. Responstider vist i Figur 2-4 og Figur 2-5 er omtrentlige tall på hvor lang tid brannvesenet bruker fra de får et varsel til de er ved Sudurøytunnelen.



Figur 2-4: Rednings- og brannberedskap Torshavn og Sandøy



Figur 2-5: Rednings- og brannberedskap på Sudurøy [A][B].

Oversikten viser at det er begrenset hva man kan regne med av innsats dersom det skulle begynne å brenne midt i en lang undersjøisk tunnel mellom Sandøy og Sudurøy. Trafikanter i tunnelen vil måtte belage seg på selvbergingsprinsippet ettersom det vil ta for lang tid for brannmannskaper til å kunne bidra med redning.

3 Selvredningsprinsippet

Dersom det er behov for å evakuere en tunnel i forbindelse med ulykkeshendelse eller brann, er det lagt til grunn at dette skal kunne utføres av den enkelte bilfører eller passasjer. Selv om prinsippet er allment akseptert i hverdagen er det fortsatt viktig at det legges til rette for at dette kan utføres uten at tidsfaktoren blir kritisk. Det er flere forhold i en tunnel som kan komplisere en slik evakuering dersom en hendelse oppstår, og dette må inkluderes i design og utforming av tunnelen og det integrerte sikkerhetsutstyret.

Selvredningsprinsippet er i samsvar med EU-direktivet og den norske tunnelsikkerhetsforskriften, og gjelder som hovedprinsipp i alle norske vegtunneler. Avhengig av responstid og tilgjengelig utstyr, er det begrenset i hvilket omfang en kan påregne at eksterne redningsmannskaper kan komme til unnsetning ved en brannhendelse i en tunnel. Ved vanlige ulykker uten brannutvikling, vil det fungere som ved respons på en tilsvarende ulykke i friluft.

Det verste scenarioet som kan inntreffe i en tunnel er en omfattende brann. Tidsaspektet vil da bli avgjørende med hensyn på det å redde mennesker og unngå tap av liv. Erfaring fra tunnelbranner som har inntruffet i Norge og andre steder i Europa angir at et brannforløp kan utvikle seg meget hurtig i en tunnel. Brannvesenet og andre redningsetater vil i de fleste tilfeller ikke ankomme Sudurøytunnelen før det har gått minst et kvarter og kjøretøyet er overtent. Tid er en kritisk faktor ved en stor brann og selvredningsprinsippet forutsetter at trafikantene ikke blir værende i bilene og vente på hjelp, men selv evakuerer til fots eller klarer å kjøre ut. [E]

4 Risikovurdering

Det er gjort noen oppdaterte konsekvensberegninger, gjengitt i de neste kapitlene (kap. 4.1 og 4.2).

4.1 Vurdering av foreslått strategi for brannventilering

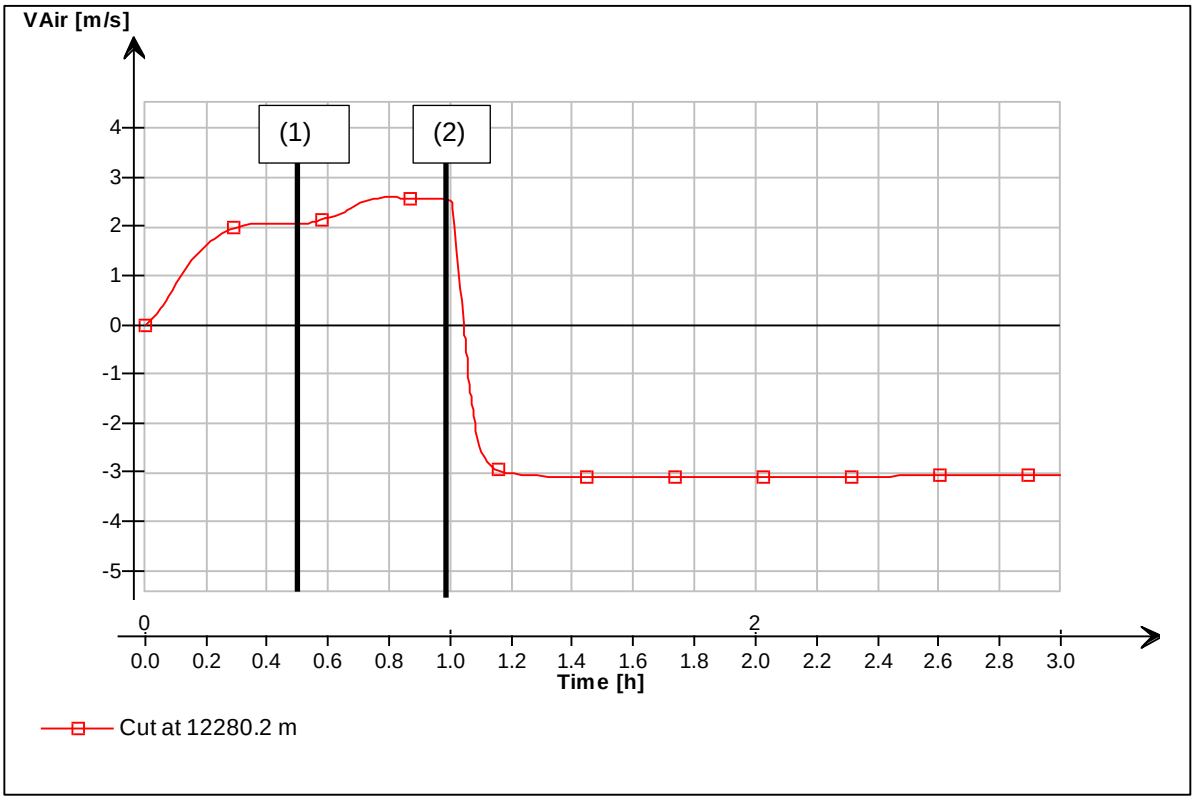
4.1.1 Generelt

Vi har sett på foreslått brannstrategi (i Norconsult sin rapport [B]) hvor ventilasjonssystemet regulerer lufthastigheten i tunnelen til ca. 1,5 m/s i eksisterende ventilasjonsretning. Brannmannskap skal ankomme tunnelen etter ca. 15 minutt og redde ut personer i tunnelen som er oppstrøms brannstedet i løpet av de neste 15 minuttene. Ventilasjonsanlegget snur ventilasjonsretningen 0,5 timer (30 minutt) etter brannens oppstart og ventilasjonshastigheten reguleres til -3 m/s.

Vi har ut fra dette gjort vurderinger og beregninger med dimensjonerende trafikkmengde og plassering av brann ca. 17.000 m inn i tunnelen. I beregningene starter brannen først etter 0,5 timer (30 minutt). Dette gjøres av simuleringstekniske årsaker slik at det er stabile forhold i tunnelen når brannen starter.

Vi benytter i dette kapittelet konsekvent begrepet «nedstrøms» om den delen av tunnelen som er fra brannstedet og i ventilasjonsretningen som gjelder de første 30 minuttene, og «oppstrøms» om den delen som er fra brannstedet og mot ventilasjonsretningen som gjelder de første 30 minuttene.

Vi har i dette kapittelet benyttet HC-kurve for utvikling av brann, det vil si en rask utvikling.

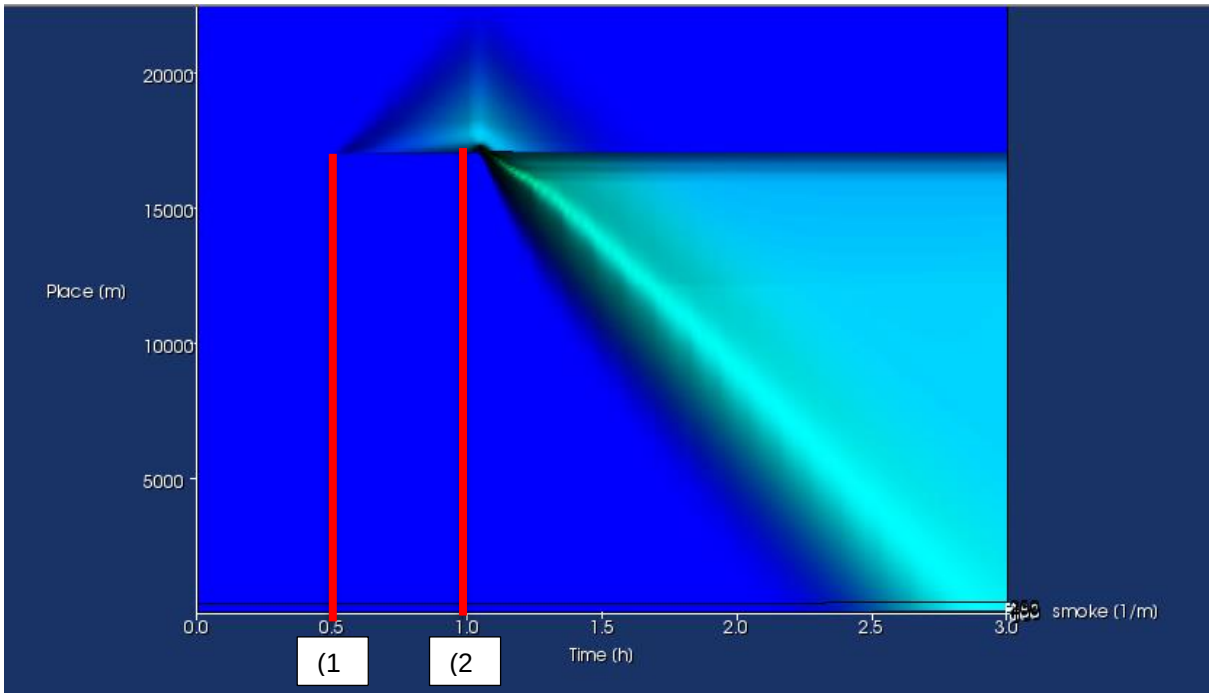


Figur 4-1: Ventilasjonshastighet i Sudurøytunnelen ca. midt i tunnelen.

Figur 4-1 viser ventilasjonshastigheten i tunnelen i vårt beregningseksempel. På grunn av trafikk i tunnelen hvor biler skyver luft foran seg vil ventilasjonshastigheten i dette tilfellet være høyere enn 1,5 m/s også i

første fase av brannen. Etter at brannen starter etter 0,5 timer (1) stiger ventilasjonshastigheten ytterligere pga. oppdrift.

I andre fase (2) - 0,5 timer etter brannens oppstart - skal røyken skyves i motsatt retning. Det tar ca. 10 minutt å snu ventilasjonsretningen. Deretter må vi ha 3 m/s minimum ventilasjonshastighet for å skyve all røyk i motsatt retning.

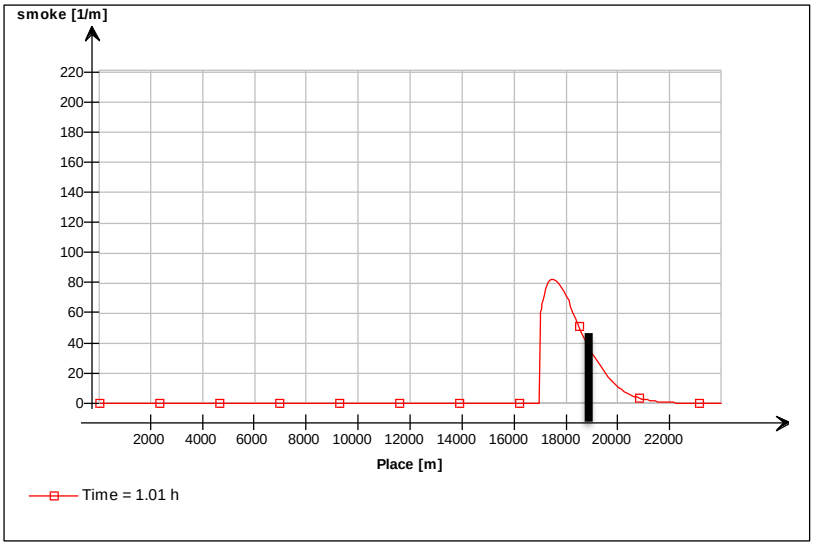


Figur 4-2: Røykspredning i Sudurøytunnelen.

Figur 4-2 viser hvordan røyk har spredt seg i tunnelen på ulike tidspunkt. X-akse angir tid og Y-akse angir posisjon i tunnelen. Ren blå farge betyr frisk luft mens avvikende farge betyr ulike konsentrasjoner av røyk.

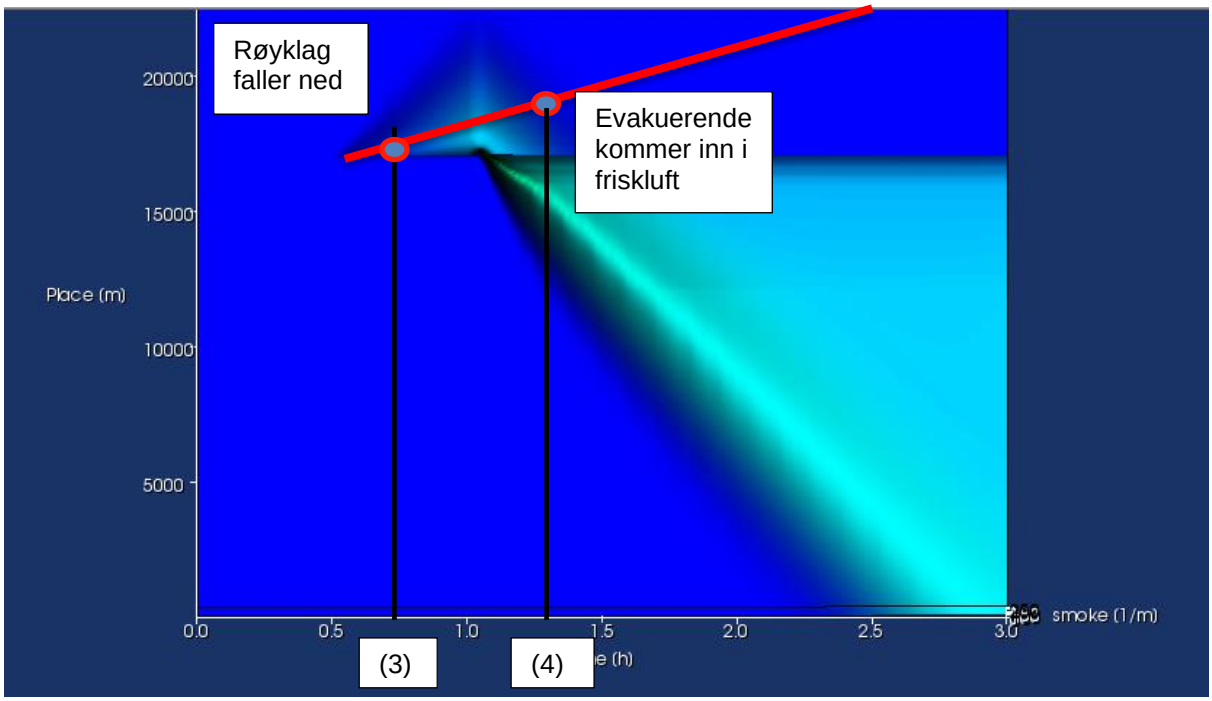
Brann starter etter 30 minutter (0,5 timer). Initial ventilasjonsretning er mot tunnelmunning i posisjon 22,8 km. Etter totalt en time (1,0 timer) snus ventilasjonsretningen, og røyk begynner da å bevege seg mot tunnelmunning i posisjon 0.

4.1.2 Evakuering nedstrøms



Figur 4-3: Røyktetthet i tunnelen 30 minutt etter brannstart.

Figur 4-3 viser røyktetthet i tunnelen 30 minutt etter brannen starter. Etter 30 minutter vil de som evakuerer ha beveget seg ca.1800 meter og befinner seg da i posisjon 18800 m. Som figuren viser vil røyken ha passert de evakuerende – hvis posisjon er markert med en svart vertikal linje. Spørsmålet blir da hvordan røyken oppfører seg.



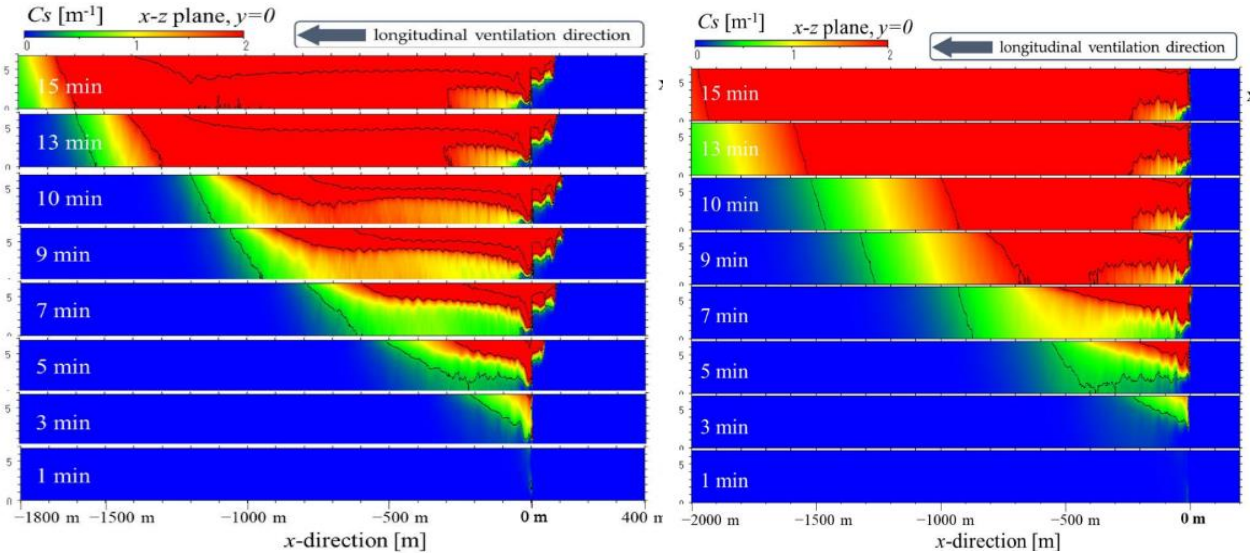
Figur 4-4: Evakuering i Sudurøytunnelen nedstrøms.

Figur 4-4 viser med rød linje hvor evakuerende fra brannstedet til enhver tid befinner seg i tunnelen forutsatt at de beveger seg med 1 m/s og starter å gå straks brannen oppstår.

I starten vil den varme røyken ligge langs taket. Etter hvert kjøler røyken seg ned i kontakt med det kalde fjellet og røyken synker mot bakken. Punkt (3) viser punktet etter ca. 10 minutt hvor vi kan regne med at røyklaget har falt ned på bakken slik at hele tunnelens tverrsnitt er fylt av røyk. Punkt (4) viser tidspunktet etter ca. 30 minutt hvor de evakuerende igjen kommer inn i sonen med friskluft. De evakuerende vil med andre ord oppholde seg ca. 20 minutt i røyk.

Eksempel fra artikkelen «Tung, P.-W. et. all. Numerical Study of Smoke Distribution in inclined Tunnel Fire Ventilation Modes Considering Traffic Conditions» vist i

Figur 4-5 viser følgende utvikling i en brann med 30 MW branneffekt i en tunnel med større profil (ca. T10.5) ved en ventilasjonshastigheter på henholdsvis 2 og 3 m/s:

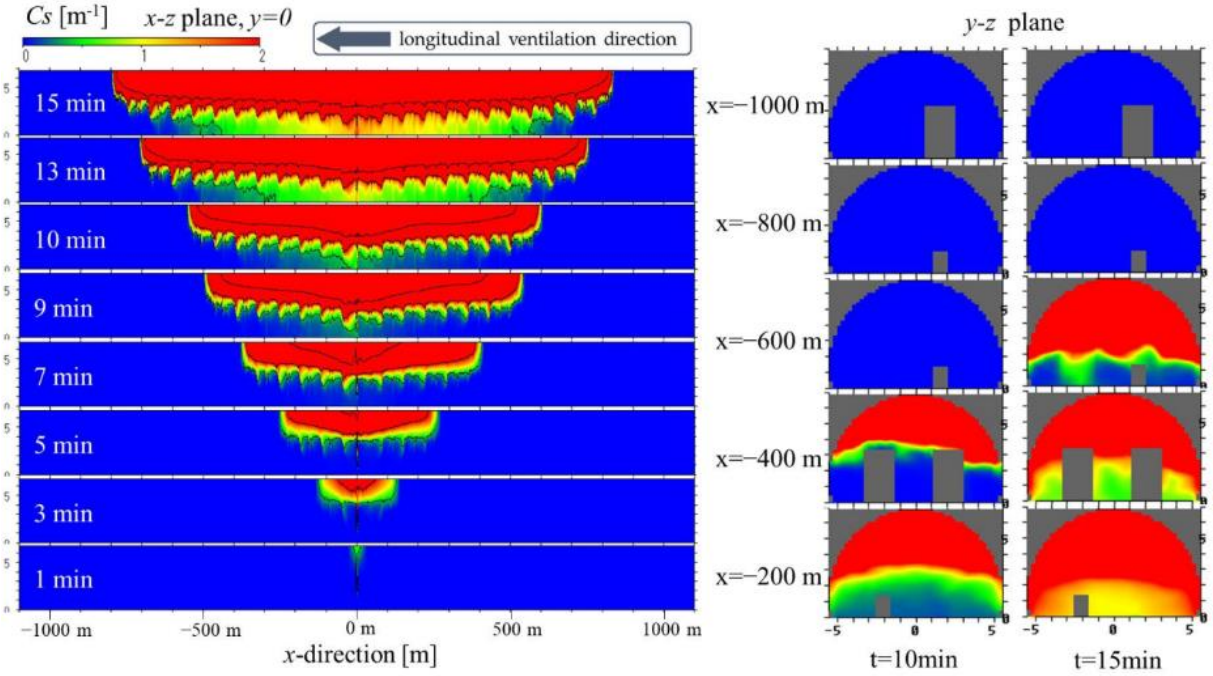


Figur 4-5: Ventilasjonshastighet 2 m/s (venstre) og 3 m/s (høyre) [M].

Som resultatet viser er det mulig å evakuere under røyklaget de første 7 minuttene. Deretter vil røyken falle ned mot bakken og fylle hele profilet. Siden vår tunnel har et mindre tverrsnitt kan vi påregne en raskere nedkjøling og at røyklaget dermed faller ned etter kortere tid enn dette.

Figur 4-6 viser tilsvarende situasjon som

Figur 4-5, men med ventilasjonshastighet 0 m/s:



Figur 4-6: Ventilasjonshastighet 0 m/s. [M]

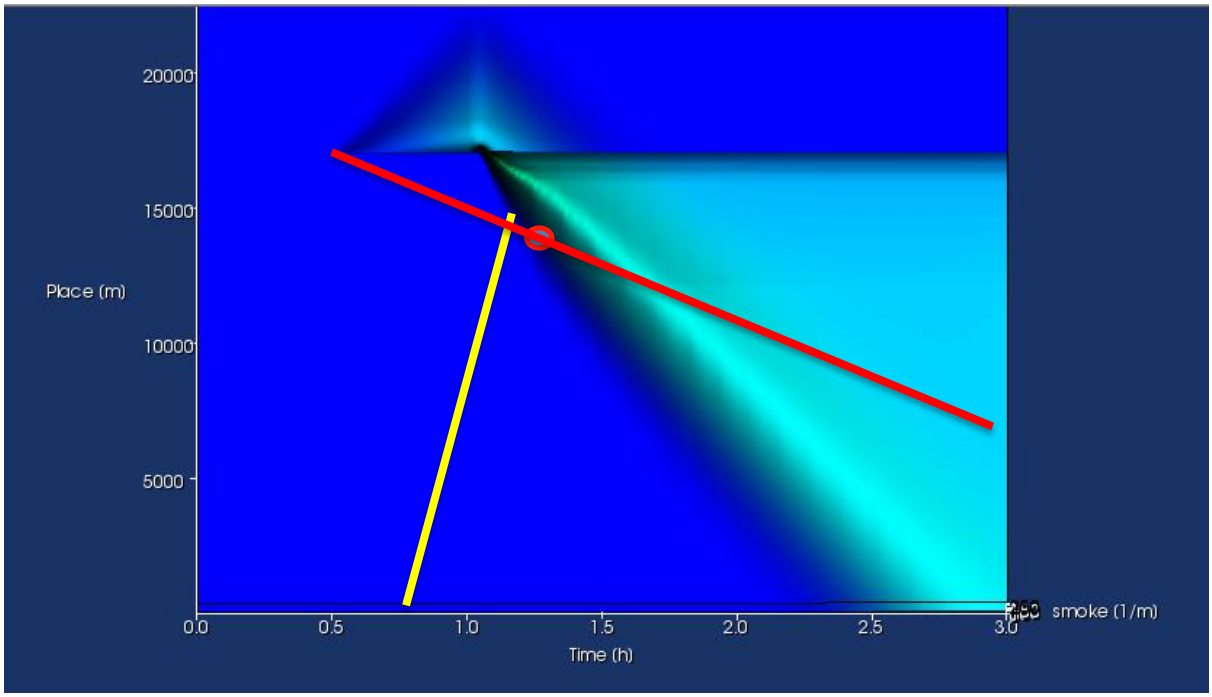
Som Figur 4-6 viser er det nå mulig å evakuere tunnelen til fots. Det forutsetter imidlertid at det er svært lav trafikkmengde slik at det ikke er luftbevegelse i tunnelen. Det gir samtidig raskt svært høye konsentrasjoner av giftig røyk i området rundt brannstedet.

Når ventilasjonsretningen snus ved hjelp av vifter kan vi påregne full omrøring slik at røyken uansett ikke lenger vil ligge langs taket, men blandes inn i luftlaget under og gi et helt røykfylt tverrsnitt.

Vi kan derfor konkludere med at det sannsynligvis ikke vil være mulig å evakuere nedstrøms i 30 minutter etter brannens oppstart.

4.1.3 Evakuering oppstrøms

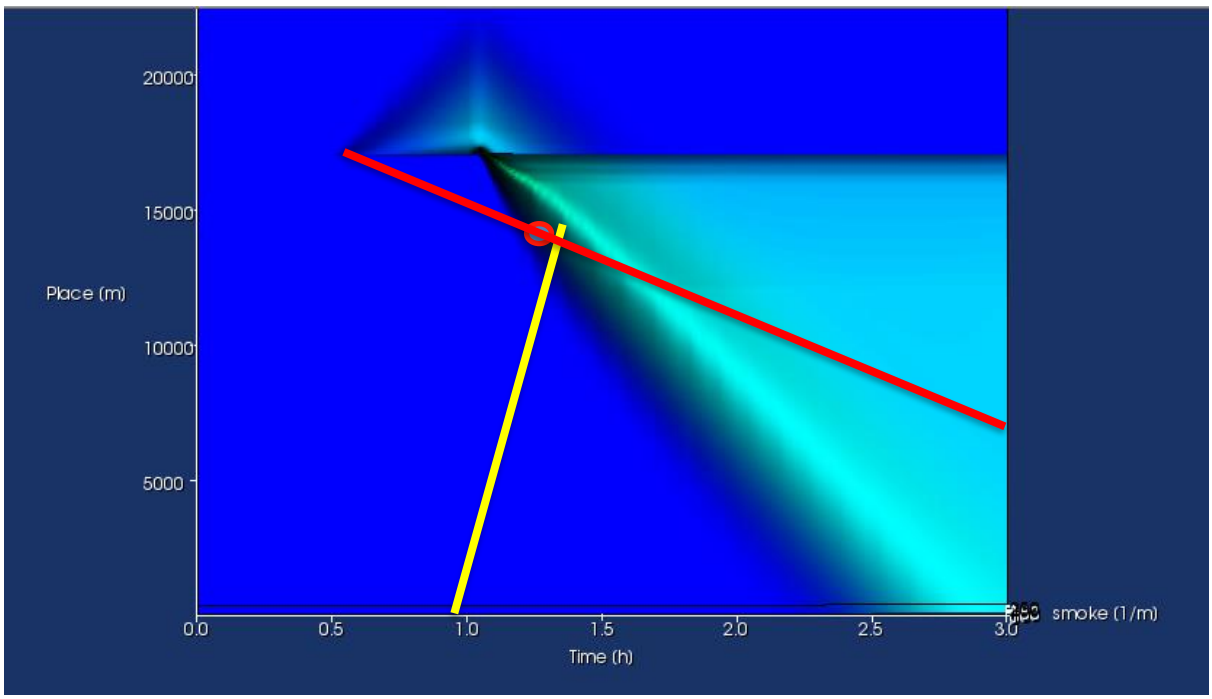
For evakuering oppstrøms ser vi på begge tunnelretninger, fra Sudurøy til Sandøy og fra Sandøy til Sudurøy, siden disse skal reddes av redningsmannskap og ankomst av redningsmannskap er ulik.



Figur 4-7: Rømning oppstrøms – mot Sudurøy.

I Figur 4-7 angir rød linje posisjonen til evakuerende oppstrøms som starter å gå straks ulykken hender.

Gul linje angir brannbil som ankommer tunnelmunningen fra Sudurøy etter 0,25 timer (15 minutt) og som så, uten pause, kjører direkte inn i tunnelen med en hastighet på 50 km/h. Som diagrammet viser vil brannbil ankomme de evakuerende rett før de blir tatt igjen av røykfronten (markert med en sirkel).



Figur 4-8: Rømning oppstrøm – mot Sandøy.

Gul linje i Figur 4-8 angir brannbil som ankommer tunnelmunningen fra Sandøy etter 0,45 timer (25 minutt). Som diagrammet viser vil brannbilen ankomme posisjonen for de evakuerende rett etter at de evakuerende er tatt igjen av røykfronten.

I begge tilfeller ser vi at redningsmannskap ikke vil komme seg nærmere enn ca. 2 km fra brannstedet. Brannstedet vil dermed ikke være tilgjengelig for redning eller slukning av brann før etter tidligst ca. 1 time etter brannens oppstart, og da kun fra portalen nedstrøms.

4.1.4 Konklusjon av vurdering av foreslått strategi for brannventilering

Ut fra vurderingene i kapittel 4.1 kan vi konkludere med at brannstrategien som er foreslått i Norconsult sin rapport ikke er forenelig med selvredningsprinsippet. De som evakuerer nedstrøms vil bli fanget i røyk. De som evakuerer oppstrøms brannen vil ha behov for å reddes ut av tunnelen av hjelpemannskap så lenge brannen oppstår mer ca. 2,5-3 km inn i tunnelen, selv under ideelle forhold.

4.2 Vurdering av evakueringsdyktighet

4.2.1 Beskrivelse av metode for beregning av evakueringsdyktighet

For å estimere konsekvenser ved et branntilfelle i tunnel er det gjennomført nye enklere beregninger av brannutvikling og røykspredning for å videre beregne røykens påvirkning på de evakuerende. Metodikken er en forenklet endimensjonal modell som angitt i boken Tunnel Fire Dynamics [F], og er satt opp i et Excel-regneark. Metodikken er den samme som presentert i tidligere rapport fra Sweco av 26.01.22. Dette med unntak av simulering av ventilasjon som i utvalgte simuleringer endrer retning etter angitt tid. Her er resultatene fra to ulike simuleringer med ulik ventilasjonsretning kombinert før og etter et angitt tidspunkt.

For å regne 'evnen til å evakuere' benyttes den samlede effekten av kvelende gasser som utrykkes med parameteren FED (Fractional Effective Dose). FED er ratioen av en faktisk akkumulert dose mot en akkumulert dose som resulterer i en spesifisert effekt på en gjennomsnittlig person. En FED på 1 er ofte definert som den akkumulerte dosen som vil gjøre 50 % av befolkningen ute av stand til evakuering mens svært få vil kunne evakuere med FED >1,3. En mer utfyllende beskrivelse av metodikken er beskrevet i Swecos tidligere rapport [A].

4.2.2 Forutsetninger og inndata for brann

Tabell 4-1 gir en oversikt over ulike scenarioer for beregning av evakueringsdyktighet i dette notatet.

Tabell 4-1: Beskrivelse av ulike scenarioer beregnet

Scenario	Beskrivelse	Kommentarer
Scenario 1	Ny beregning med identiske inndata og forutsetninger som Norconsult.	Beregningen kopierer inndata fra Norconsult i den grad de er beskrevet i rapporten. Ventilasjonen snus etter 30 minutter.
Scenario 2	Med forutsetninger fra tidligere beregninger fra Sweco men ny tunnelutforming og ÅDT fra Norconsult.	Her er da samme metodikk benyttet som angitt i Swecos tidligere rapport [A] med blant annet to konstante ventilasjonshastigheter (1 og 3 m/s) i samme retning hele tiden.
Scenario 3	Med forutsetninger fra Norconsult (tunnelutforming, ÅDT, tiltak/ventilasjon og adferd) men med	Her vil Swecos brannscenario være mer konservativt for effektutvikling men ikke nødvendigvis i plassering av brann. Trafikkfordelingen fra Sweco vil også være

Scenario	Beskrivelse	Kommentarer
	brannscenario og fordeling av trafikk fra Sweco.	mer konservativ, men adferd med at alle biler som får varsel snur vil være mindre konservativ. Endring av ventilasjonsretning etter 30 minutter er også estimert.

Tabell 4-2 viser inndata i modellen for beregning av evakueringsudyktighet, som avviker fra den tidligere rapporten fra Sweco [A].

Tabell 4-2: Sentrale inndata i beregningsmodell for røykspredning og evakueringsdyktighet.

Forskjeller i Sentrale inndata for beregninger			
Brannscenario			
Scenario		**Plassering**	**Effektutvikling**
Scenario 1		Ca. 2 km fra portal.	Medium brannvekst frem til 10 min deretter rask brannutvikling til 50 MW.
Scenario 2		Senter (T10,5 og T9,5)	Rask brannutvikling frem til 50 MW.
Scenario 3		Senter	Rask brannutvikling frem til 50 MW.
Ventilasjon			
Scenario		**Ventilasjonshastighet og styring**	
Scenario 1		1,5 m/s som gradvis endrer retning etter 30 min til 3,5 m/s i motsatt retning. I beregningen fra Sweco er dette beregnet som angitt i scenario 3.	
Scenario 2		Konstant ventilasjon 1 m/s og 3 m/s for hhv. T10,5 og T9,5.	
Scenario 3		To beregninger satt sammen med 1,5 m/s og ny beregning etter ca. 31,5 min, 3,5 m/s i motsatt retning.	
Adferd			
Scenario	**Andel biler som snur i tunnel etter varsel**	**Ganghastighet på evakuerende**	**Reaksjonstid**
Scenario 1	100 %	1,0-0,3 m/s avhengig av sikt i røyk	Ca. 2 min etter at en situasjon er oppfattet
Scenario 2	0 %	1,2-0,3 m/s avhengig av sikt i røyk for hhv T10,5 og T9,5.	Antatt reaksjon 1 min. etter at sikt i røyk reduseres.

Scenario 3	100 %	1,0-0,3 m/s avhengig av sikt i røyk	Ca. 2 min etter at en situasjon er oppfattet

Trafikk-forutsetninger				
Scenario	**ÅDT og % av ÅDT som simuleres**	**Personer per kjøretøy**	**Fordeling av kjøretøy per kjørefil**	**Tid til stenging av tunnel / lukking av port**
Scenario 1	2000 (10% av ÅDT pr. time simuleres)	1,5 pers. / bil	50 % / 50 %	3 min
Scenario 2	1300 (17% av ÅDT simuleres) og 2000 (17% av ÅDT pr. time simuleres)	1,5 pers. / bil og 40 pers. i en buss	80 % / 20 %	4 min
Scenario 3	2000 (10% av ÅDT pr. time simuleres)	1,5 pers. / bil	50 % / 50 %	3 min

Tunnelutforming		
Scenario	**Tunnelprofil**	**Tunnellengde**
Scenario 1	T 9,5	22818 m
Scenario 2	T10,5 og T 9,5	22818 m
Scenario 3	T 9,5	22818 m

Figur 4-9 og Figur 4-10 viser en illustrasjon av noen prinsipielle forskjeller mellom Swecos og Norconsults forutsetninger for beregninger.



Figur 4-9: Illustrasjon med Sweco's prinsipp for brannscenario, trafikale forhold og rømningsadferd [A].



Figur 4-10: Illustrasjon med Norconsult's prinsipp for brannscenario, trafikale forhold og rømningsadferd/adferd [B].

4.2.3 Resultater beregning av evakueringsdyktighet

Det er gjort beregninger for å se på evakueringsdyktighet, dvs. antall personer som mister evnen til å evakuere og dermed omkommer, i de 3 scenarioene som er beskrevet i kap. 4.2.2. Resultatene i tabellene under viser antall personer som påvirkes av røyken i så stor grad at de mister evnen til å evakuere. Beregningene reflekterer kun rømningsfasen i tunnelen frem til en utgang/portal. Beregningen baseres på FED som beskrevet i kap. 4.1.1 og ytterligere vist i [A].

Scenario 1: Brann i lastebil (medium brannvekst frem til 10 min, deretter rask brannutvikling til 50 MW.) ca. 2 km fra portal, ventilasjonen snus etter 30 minutter.

Tabell 4-3: Resultater antall personer som mister evnen til å evakuere, scenario 1.

Scenario 1: Identisk med inndata fra Norconsult (T9,5 og ÅDT 2000)		
Tiltak	**Plassering, evakuerende**	**Antall personer som mister evnen til å evakuere**
Tiltak iht. til N500 med ventilasjon 1,5 m/s. Etter ca. 31,5min 3,5 m/s i motsatt retning.	Kø nær brann	**2,5**
	Kjørende inn i røyk	**0**
	Totalt	**2,5**

Med forutsetninger fra dette scenarioet er det grovt estimert at ca. 50 % av de evakuerende vil miste evnen til å evakuere. Forutsetningen fra Norconsult er at alle som får varsel om å snu, snur i tunnelen. Overslag viser at hvis det er evakuerende fra biler som ikke klarer å snu, forventes disse å være evakueringsdyktige frem til de når røykfrie områder. Dette med forutsetningene fra Norconsult inkludert i brannscenarioet, dvs. medium brannvekst frem til 10 minutter, deretter rask brannutvikling til 50 MW. Beregningene for scenario 1 viser at 2,5 personer vil miste evnen til å evakuere i dette scenarioet. Dette er i motsetning til Norconsult sine vurderinger som viser at alle klarer å snu og kjøre ut av tunnelen. For ytterligere kommentarer se kap. 4.2.4.

Scenario 2: Brann i lastebil (rask brannutvikling til 50 MW) i senter av tunnelen, ventilasjon i samme retning hele tiden (dvs. den snus ikke).

Tabell 4-4: Resultater antall personer som mister evnen til å evakuere, scenario 2.

Scenario 2: Løsning fra Norconsult (T9,5 og ÅDT 2000)					
Beskrivelse tiltak	**Plassering evakuerende**	**A) Fra Sweco sin tidligere rapport: Alternativ 3 - Én lang tunnel, rømning ut tunnelportalene (T10,5 og ÅDT 1300)**		**B) Fra Norconsult sin rapport: Antall personer som mister evnen til å evakuere (T9,5 og ÅDT 2000)**	
	Ventilasjons-hastighet	1 m/s	3 m/s	1 m/s	3 m/s
Ingen spesielle sikkerhetstiltak utover N500.	Kø nær brann	31,5	22,5	77	35
	Kjørende inn i røyk	62,5	71,5	49	91
	Totalt	**94**	**94**	**126**	**126**

Beregningene for scenario 2 viser at 94 personer i den tidligere versjonen av tunnelen (A: T10,5, ÅDT 1300) vil miste evnen til å evakuere, mens det for den nye versjonen (B: T9,5, ÅDT 2000) vil være 126 personer som mister evnen til å evakuere. Dette er ved rask brannvekst og at man ikke snur ventilasjonen etter en gitt tid. Det er både personer som står i kø nær brannen og personer som kjører inn i røykfylt tunnel som ikke klarer å kjøre eller evakuere til fots ut av tunnelen før de blir tatt igjen av røyken. Mindre tunnelprofil og økende ÅDT i den nye versjonen av tunnelen (B) gjør at det er flere som mister evakueringsevnen i dette scenariet. For ytterligere kommentarer se kap. 4.2.4.

Scenario 3: Brann i lastebil (rask brannutvikling til 50 MW) i senter av tunnelen, ventilasjonen snus etter 30 min.

Tabell 4-5: Resultater antall personer som mister evnen til å evakuere, scenario 3.

Scenario 3: Tunnelutforming, tiltak og adferd som beskrevet av Norconsult. Brannscenario og fordeling av trafikk fra Sweco.		
Tiltak	**Plassering, evakuerende**	**Antall personer som mister evnen til å evakuere**
Tiltak iht. til N500 med ventilasjon 1,5 m/s. Etter ca. 31,5 min 3,5 m/s i motsatt retning.	Kø nær brann	**12**
	Kjørende inn i røyk	**0**
	Totalt	**12**

Med forutsetninger fra dette scenarioet vil alle de evakuerende miste evnen til å evakuere før de når den røykfrie delen av tunnelen. Forutsetningen fra Norconsult er at alle som får varsel om å snu, snur i tunnelen. Overslag viser at hvis det er evakuerende fra biler som ikke klarer å snu, forventes en stor andel å miste

evnen til å evakuere før de når røykfrie områder. Dette med forutsetningene fra Norconsult, men med brannscenario fra Sweco. Beregningene for scenario 3 viser at 12 personer vil miste evnen til å evakuere dersom man har en rask brannvekst og man snur ventilasjonen etter 30 minutter. Her er personer som står i kø nær brannen som ikke klarer å evakuere før de er nådd av røyken. For ytterligere kommentarer se kap. 4.2.4.

4.2.4 Kommentarer til beregninger og resultater

Som Figur 4-9 og Figur 4-10 viser er det flere prinsipielle forskjeller mellom det beregnede scenarioet fra Norconsult og Sweco. Under gjøres en kort vurdering av de viktigste parameterne som skiller seg fra de ulike studiene.

4.2.4.1 Brannscenario

Valg av brannscenario vil være et av parameterne som har størst innvirkning på utfallet av studien og som i stor grad definerer konsekvensen av en brann i en tunnel. I dette tilfellet har Norconsult valgt en plassering som ligger nær en portal med ventilasjonsretning mot denne portalen. Dette vil være en mer konservativ plassering i forhold til Swecos studie [A]. Det er derimot valgt en brann med begynnende medium brannvekst, som deretter øker til rask brannvekst etter 10 min. Den begynnende medium vekstraten begrunnes med et scenario der brannen ofte kan starte i motor eller varmgang i roterende deler (hjul/bremser/lagre/o.l.) og ikke i lasten hvor brannen forventes å vokse hurtigere. Det bemerkes også at, basert på angitt kurve i figur 5-1 i Norconsults rapport [B] er brannveksten noe lavere enn standardisert rask brannvekst etter 10 min.

Begrepene «medium» og «rask» brannvekst er standardiserte verdier for effektutviklingen av en brann. Valg av denne vekstraten vil ha en avgjørende påvirkning på studien. I Swecos studie er det benyttet en rask brannvekstrate blant annet etter anbefaling fra [G].

Til forskjell fra Norconsults studie er det i Swecos rapport antatt en kollisjon mellom to kjøretøy som også kan endre en brannvekstrate. En kollisjon kan også medføre vanskeligheter for å passere brannen/skadestedet og derav lengre kø. I Swecos rapport er det antatt at alle biler nedstrøms brannen, som ankommer skadestedet før sikten i tunnelen reduseres, blir stående i en kø. I Norconsult er det antatt at 50 % av bilene som mulig kunne komme i denne køen passerer skadestedet.

4.2.4.2 Trafikkfordeling og adferd

Fordeling av trafikk både i forhold til økning av trafikk på beregningstidspunktet og fordeling av denne trafikken i ulike retninger vil ha stor betydning for antallet personer/biler som kan eksponeres for brann og røyk. I Norconsults rapport [B] er det ikke gjort noen beregninger av antall eksponerte personer, men kun av antall biler som kan eksponeres for brann og røyk. Norconsults forutsetninger er her ulike fra Swecos lavere trafikk på beregningstidspunktet [A], samt en lik fordeling mellom kjøretøy i ulike retninger. Her er det i Swecos studie antatt mer konservative verdier for begge disse forholdene som gir et mye større antall biler og evt. personer som kan eksponeres for brann og røyk.

Det bemerkes også at i Swecos studie er det beregnet med en fordeling på 80 % i trafikk i en retning. Dette er en veldig konservativ antagelse, da ventilasjonsretningen mest sannsynlig vil være i samme retning som hovedvekten av trafikken. Trafikken i den samme retningen som ventilasjonen går vil derav trolig ikke eksponeres for brann og røyk.

I Norconsults studie er det også angitt at alle trafikanter som får varsel vil snu og kjøre ut av tunnelen. I Swecos studie er det antatt at alle som kjører mot ventilasjonsretningen vil kjøre inn i røyk. Selv om det er begrenset med referanser som beskriver hvor sannsynlig det er at kjøretøy snur i tunnel gitt varsling, er det grunn til å anta at en stor andel av kjøretøy vil snu i tunellen. Det anses derimot lite konservativt å anta at alle snur med tanke på de få referansene som beskriver denne adferden, samt at større kjøretøy kan være mer utfordrende å vende i en tunnel.

5 Diskusjon

Et av de farligste scenariene som kan oppstå i en tunnel er en stor brann i vogntog med farlig last. Erfaringer fra slike branner viser at det er omtrent 10 minutter tilgjengelig for evakuering før trafikantene er fanget i en kritisk situasjon nær brannen. I løpet av denne tiden må trafikantene som berøres rømme tunnelen til et trygt sted [H]. Ved en slik brann må mennesker i utgangspunktet redde seg selv. Å vente på hjelp fra redningsetater kan bli fatalt ettersom det kan ta tid før redningsetatene ankommer brannstedet [I]. Responstiden fra nord (Torshavn) til tunnelen er på 15-30 minutter, mens fra sør er den ca. 10 minutter. I Sudurøytunnelen som er rundt 22 km lang, vil utrykningstiden i tunnelen alene kunne ta over 10 minutter. I tillegg vil trolig brannvesenet stoppe opp utenfor tunnelen en tid for å få en oversikt over situasjonen før de evt. kjører inn i tunnelen. Det er derfor ekstra viktig at selvbergingsprinsippet (se kap. 3) ivaretas slik at trafikanter kan redde seg selv.

Skal selvredning fungere, og trafikantene ha en reell sjanse til å gjennomføre evakuering i røykfylte omgivelser på egen hånd, må tunnelen være konstruert og utstyrt med tekniske installasjoner som vil gi hjelp og støtte til trafikantene i en nødssituasjon. Det kan derfor stilles spørsmål ved om forutsetningene for selvredning vil være tilstede i Sudurøytunnelen, spesielt dersom man ikke etablerer nødutganger. Selvredning i Sudurøytunnelen kan i prinsippet skje på tre måter:

1. Ved å kjøre forbi brannobjekt og ut motsatt portal av der man kom inn.
2. Ved å snu og kjøre ut samme portal man kom inn.
3. Ved å forlate kjøretøy og gå til nærmeste utgang, nødutgang eller redningsrom.

Det er rimelig å anta at alle de tre selvredningsprinsippene vil bli benyttet i en større brann i Sudurøy-tunnelen. Så lenge man benytter kjøretøy til evakuering er det lite som skiller sikkerhetstiltakene fra hverandre når det kommer til utforming av tunnelløpene. Den største forskjellen i påvirkning på selvbergingsprinsippet finner man under punkt 3; når man er nødt til å forlate kjøretøyet sitt og evakuere til fots.

Tilfeller der man ser seg nødt til å forlate kjøretøyet for å rømme, er som regel hvis man oppholder seg tett på brannen, med redusert sikt og tilløp til en kaotisk situasjon. En slik situasjon gjør det vanskelig å snu kjøretøyet og kjøre ut, spesielt hvis det har begynt å samle seg kjøretøy på stedet. Undersøkelser Statens havarikommisjon (SHK) har gjort av tunnelbranner viser også at det er svært krevende å gjennomføre en sikker evakuering med eget kjøretøy i et røykfylt tunnelmiljø. Sikten reduseres ofte raskt, før den forsvinner helt [J]. I en slik situasjon er selvredningsprinsippet adskillig bedre ivaretatt dersom man installerer redningsrom eller rømningstunnel.

Norconsult sin rapport fra 2023 [B] sier at langsgående ventilasjon uten rømningsrom/-tunnel er en akseptabel løsning gitt at brannvesenet redder ut trafikanter oppstrøms brannen (klarerer tunnelen), før de snur ventilasjonen slik at de som rømmer nedstrøms ikke blir tatt igjen og fanget i røyken. Dette mener Sweco strider imot selvbergingsprinsippet siden man belager seg på fysisk redning fra nødetater for at evakuering skal være ivaretatt.

I Norconsult-rapporten er det vurdert at alle trafikanter opptrer «perfekt» ved en brann, dvs. at de umiddelbart begynner å snu/kjøre ut av tunnelen. Erfaringer fra blant annet den 11,4 km lange Gudvangatunnelen i 2013 viser at dette ikke alltid er tilfelle. 23 trafikanter ble sittende i sine kjøretøy i inntil 75 minutter før de hovedsakelig ble reddet ut med redningsbiler. Fem av de evakuerende trafikantene klarte å rømme omtrent 8 km (brukte 95 minutter) i røykfylte omgivelser og ble alvorlig skadet av røyken. Alle kom levende ut av brannen, men alle ble definert som alvorlig skadd. Ung alder og god helse var trolig medvirkende årsaker til at liv ikke gikk tapt under brannen. [K]

Erfaringene fra Oslofjordtunnelen og Gudvangatunnelen er svært relevante for Sudurøytunnelen, spesielt for et alternativ uten nødutganger. I Sudurøytunnelen ville man i forhold til Gudvangatunnelen kunne ha enda

lengre distanse å evakuere, og i tillegg en krevende stigning på 5% i enden av tunnelen. Dette gjør at eventuelle konsekvenser kan være enda mer alvorlige. Den største utfordringen med Sudurøytunnelen er lengden. Det er nærliggende å anta at dersom det oppstår en større brann vil en eller flere trafikanter være nødt til å evakuere til fots. Å skulle evakuere hele distansen til nærmeste tunnelmunning vil som både beregningene viser, samt erfaring, føre til fatale konsekvenser.

Et scenario der en full buss må stoppe som følge av et vogntog som brenner, vil være av de farligste scenariene. Det vil trolig være en del busstransport gjennom tunnelen, både rutebusser og turistbusser, spesielt i sommerhalvåret. En buss vil kunne ha vanskeligheter med å snu på stedet og busspassasjerer må sannsynligvis evakuere til fots. Er man heldig finnes det andre kjøretøy i nærheten som kan plukke opp de gående. En usikkerhet er at man aldri kan vite hvem de evakuerende er og man har ingen garanti for at disse er i fysisk god form. En busslast kan bestå av eksempelvis eldre og funksjonshemmede som vil bruke lengre tid på å evakuere og kanskje ikke har samme tåleevne av giftige gasser som andre. For mer informasjon om brann i buss, se SHKs rapport om bussbrann i Gudvangatunnelen 11. august 2015 [L].

6 Konklusjon og anbefaling

Norconsult sin rapport fra 2023 [B] sier at langsgående ventilasjon uten rømningsrom/-tunnel er en akseptabel løsning gitt at brannvesenet redder ut trafikanter oppstrøms brannen (klarerer tunnelen), før de snur ventilasjonen slik at de som rømmer nedstrøms ikke blir tatt igjen og fanget i røyken. Dette har Sweco sett nærmere på i dette notatet.

I Norconsult-rapporten er det vurdert at alle trafikanter opptrer «perfekt» ved en brann, dvs. at de umiddelbart begynner å snu/kjøre ut av tunnelen. Erfaringer fra blant annet den 11,4 km lange Gudvangatunnelen i 2013 viser at dette ikke alltid er tilfelle. Fem av de evakuerende trafikantene klarte å rømme omtrent 8 km (brukte 95 minutter) i røykfylte omgivelser og ble alvorlig skadet av røyken. 23 andre ble sittende i sine kjøretøy i inntil 75 minutter før de hovedsakelig ble reddet ut med redningsbiler. Alle kom levende ut av brannen, men alle ble definert som alvorlig skadd. Ung alder og god helse var trolig medvirkende årsaker til at liv ikke gikk tapt under brannen [K].

Sweco har sett på tre ulike scenario. Resultatene fra beregningene viser følgende:

- Scenario 1: Ny beregning med identiske inndata og forutsetninger som Norconsult. Ventilasjonen snus etter 30 minutter. Beregningene viser at 2,5 personer vil miste evakueringsevnen i dette scenariet.
- Scenario 2: Sammenligning av tidligere beregninger fra Sweco (T10,5 og ÅDT 1300) med Norconsult sin nye tunnelutforming (T9,5) og ÅDT (2000). Beregningene viser at 94 (Sweco) eller 126 (Norconsult) personer vil miste evakueringsevnen i dette scenariet. I dette scenariet har man sett på konsekvensene ved å ikke snu ventilasjonen.
- Scenario 3: Med forutsetninger fra Norconsult (tunnelutforming, ÅDT, tiltak/ventilasjon og adferd) men med brannscenario og fordeling av trafikk fra Sweco. Ventilasjonen snus etter 30 minutter. Beregningene viser at 12 personer vil miste evakueringsevnen i dette scenariet.

Ut fra beregningene og vurderingene i dette notatet kan vi konkludere med at brannstrategien som er foreslått, i Norconsult sin rapport, ikke er forenelig med selvredningsprinsippet. De som evakuerer nedstrøms brannen vil bli fanget i røyk. De som evakuerer oppstrøms brannen vil ha behov for å reddes ut av tunnelen av hjelpemannskap så lenge brannen oppstår mer ca. 2,5-3 km inn i tunnelen, selv under ideelle forhold. Dette mener Sweco strider imot selvbergingsprinsippet siden man belager seg på fysisk redning fra nødetater for at evakuering skal være ivaretatt.

I henhold til Swecos vurderinger gjort i dette notatet er ikke langsgående ventilasjon, uten rømningsrom/-tunnel, en akseptabel løsning da denne løsningen ikke oppfyller selvbergingsprinsippet. At flere personer vil miste sin evne til å evakuere, i alle de undersøkte brannscenariene, strider imot «Nullvisjonen» som sier at man skal bygge «et transportsystem som ikke fører til tap av liv eller varig skade». [C]

7 Referanser

[A]. Sweco: *Risiko knyttet til brann ved ulike konsepter for Sudurøytunnelen*, pr.nr. 10226293, rev. 01, 19.04.2022

[B]. Norconsult: *Risikovurdering, Forprosjekt Suðuroyartunnilin,* oppdragsnr. 52301980, dokumentnr. Felles-040, 24.11.2023

[C]. Det Kongelige Samferdselsdepartement; *Nasjonal transportplan 2018-2029,* Meld. St. 33 (2016-2017)

[D]. Norges Geotekniske Institutt; *Sudurøy subsea road tunnel, Executive study for the early planning phase, Doc. No. 20210198-01-R,* Rev.no.0, 2021-08-27

[E]. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB); *Risikoanalyse av brann i tunnel - delrapport til Nasjonalt risikobilde*, 2014

[F]. Tunnel Fire Dynamics | Haukur Ingason | Springer. Åpnet: okt. 19, 2021. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.springer.com/gp/book/9781493921980

[G]. Gehandler, H. Ingason, A. Lönnermark, H. Frantzich, og M. Strömgren, *Funktionsbaserade krav och rekommendationer för brandsäkerhet i vägtunnlar (FKR-BV12). 2012. Åpnet: okt. 20, 2021*. [Online]. Tilgjengelig på: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-5071

[H]. SINTEF; *Litteraturundersøkelse - Selvredning i vegtunneler. Erfaringer med bruk av redningsrom*, okt. 2017

[I]. Garatun, M. G; *Brann i tunnel - selvbergingsprinsippet: Dette skal du gjøre når det brenner i en tunnel.* Artikkel Teknisk Ukeblad, nov. 2015

[J]. Fridolf K., Nilsson D, Frantzich H; *Fire evacuation in underground Transportation systems: A review of Accidents and empirical research.* 2013

[K]. [Statens Havarikommisjon for transport, *RAPPORT Vei 2015/02 RAPPORT OM BRANN I VOGNTOG PÅ E16 I GUDVANGATUNNELEN I AURLAND 5. AUGUST 2013*, 2015

[L]. Statens Havarikommisjon for transport, *Rapport Vei 2016/03 RAPPORT OM BUSSBRANN I GUDVANGATUNNELEN PÅ E16 I AURLAND 11. AUGUST 2015*, 2016

[M]. Tung, P.-W. et. all. *Numerical Study of Smoke Distribution in inclined Tunnel Fire Ventilation Modes Considering Traffic Conditions*, 2013