Suðuroyartunnilin P/F

Supplerende risikovurdering Suðuroyartunnilin

Vurdering av løsning for tilfluktsrom

Oppdragsnr.: **52301980** Dokumentnr.: Versjon: **00** Dato: **2025-02-12**



Norconsult

Oppdragsgiver:	Suðuroyartunnilin P/F
Oppdragsgivers kontaktperson:	Teitur Samuelsen og Einar Brimnes
Rådgiver:	Norconsult Norge AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder:	Bjørn Anton Kleppestø
Fagansvarlig:	Gro Aanesland Dahle
Andre nøkkelpersoner:	Marthe Pedersen, Jens Bjerkelund

Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
00	2025-02-12	Første utkast	M. Pedersen G. Dahle	J. Bjerkelund	B. Kleppestø

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Norconsult har tidligere vært engasjert for å utarbeide forprosjekt for planlagt ny Suderøytunnel. I tidligere utarbeidet risikoanalyse for tunnelen har Norconsult sin vurdering i prosjektet vært at det er mulig å ivareta sikkerheten i tunnelen uten bruk av tilfluktsrom, dersom det blant annet etableres forsterket beredskap, nødvendig styring av ventilasjonen og legges restriksjoner på tungbiltrafikken.

Dersom beskrevne tiltak for en løsning uten tilfluktsrom ikke vurderes gjennomførbare, eller det vurderes at sikkerheten ved en slik løsning ikke er tilstrekkelig robust, må tilfluktsrom etableres.

Hovedformålet med denne analysen er å vurdere en løsning med tilfluktsrom. I tillegg gjennomføres en overordnet vurdering av tiltakene forsterket beredskap og restriksjoner for tunge kjøretøy, samt om tunnelprofil T9,5 eller T10,5 har betydning for brannsikkerheten i tunnelen.

Denne rapporten er et supplement til tidligere vurderinger, og er begrenset til å vurdere spesifikke forhold som omtalt over. Denne rapporten er ikke en fullstendig risikovurdering.

For vurderingen er det gjennomført supplerende beregninger for å vurdere hvordan evakuering vil foregå ved en brannhendelse og langsgående ventilasjon.

Følgende løsning anbefales dersom det legges til grunn tilfluktsrom:

- Tilfluktsrom for hver 500 m
- En løsning med tilfluktsrom må kombineres med en form for PA-anlegg eller akustisk ledesystem for å tilrettelegge for at man går i riktig retning og ikke «gir opp» før man kommer til tilfluktsrommet.
- Tilfluktsrommene dimensjoneres for å kunne håndtere en busslast (typisk turistbuss)

Følgende momenter trekkes fram fra vurderingen:

- Tilfluktsrom for hver 500 m vil innebære at muligheten for selvredning ved evakuering til fots til tilfluktsrom eller ut portalen, vil være mulig for de aller fleste brannstørrelser og brannscenarier i tunnelen. Dette innebærer at løsningen vil være robust.
- De teoretiske beregningene indikerer at det vil være mulig å evakuere til dels lange avstander. For alle de belyste scenariene er (den teoretiske) evakueringslengden mer enn 500 m, også dersom det legges til grunn rask brannutvikling og stor branneffekt (100 MW).
- Studier utført av Sintef viser at dersom avstanden ved evakuering i røyk blir lang (over 250 m), kan evakuerende gi opp og snu eller stoppe opp. Forsøk viser imidlertid at ledelyd (akustiske ledesystemer) har god effekt med hensyn til å lede de evakuerende i ønsket retning. Informasjon om å følge lyden gjør at vesentlig flere går riktig veg og ikke gir opp og snur.
- Det forventes at det vil være flere turistbusser i tunnelen. Tilfluktsrommene må derfor dimensjoneres for å kunne håndtere et antall personer som typisk befinner seg på en turistbuss.
- En løsning med 500 m mellom tilfluktsrommene følger det europeiske regelverket for avstand mellom rømningsvei, og det legges med denne løsningen derfor ikke andre restriksjoner på bruk av tunnelen. Løsningen er også robust over tid med tanke på økning i trafikkmengde.

Mulighet for større avstand mellom tilfluktsrom – gitt restriksjoner for tunge kjøretøy i tunnelen

- Restriksjoner for tungtrafikken (inkludert transport av farlig gods) vil kunne ha stor betydning for sannsynligheten for at store branner oppstår på ugunstige tidspunkt. I praksis betyr dette at dimensjonerende brann, i tidsrommene hvor tunge kjøretøy ikke tillates i tunnelen, vil begrenses til

en brann i buss, bobil, campingvogn eller tilsvarende. Uten tunge kjøretøy i tunnelen vil sannsynligheten for store branner (> 20-30 MW) og worst case-scenarier med svært høye branneffekter kombinert med rask brannutvikling være eliminert.

- Gitt restriksjoner for tungtrafikken vurderes det derfor at avstanden mellom tilfluktsrom kan øke til 750 m. Dette innebærer at restriksjoner innføres i tilstrekkelig grad, dvs. i alle perioder med forventet mye annen trafikk eller høy andel turistbusser.
- AID for tidlig varsling, eksplisitt varsling/skilting av brann i tunnelen, akustisk ledesystem for å tilrettelegge for at man går i riktig retning og ikke «gir opp», samt kontinuerlig evakueringsbelysning vil være viktig å etablere også dersom avstanden mellom tilfluktsrommene øker.
- Det presiseres at denne løsningen vil være mer sårbar enn en løsning med tilfluktsrom hver 500 m. I dette ligger det at restriksjoner for tungtrafikken er et tiltak som over tid vil kunne reverseres om ikke riktige vurderinger gjøres, og at risikobildet i tunnelen også vil kunne påvirkes av fremtidige endringer i trafikksammensetning og trafikkmengde. I tillegg vil løsningen være mer sårbar med hensyn til personer med redusert mobilitet.

Forsterket beredskap

Dersom redningsmannskapene skal ha en aktiv rolle i personsikkerheten ved brann må beredskapen tilpasses og forsterkes slik at dette vil være mulig. Forsterket beredskap er angitt som tiltak ved lengre avstand mellom tilfluktsrom, og ved tidligere beskrevet løsning uten tilfluktsrom.

Følgende beredskapstiltak vurderes å være nødvendig ved et slikt tilfelle:

- Brannstasjon plassert nær hver tunnelportal. Avstand er ikke vurdert i detalj, men med «nær» vurderes kjøretid frem til portal å være ca. 5 minutter.
- 2 kasernerte mannskaper på hver stasjon (dvs. døgnbemannet med 2 mannskaper).
- Tilpasset utrykningskjøretøy på hver stasjon for å sikre rask utrykning og evakuering av personer som trenger hjelp for å komme seg ut.

Tunneltverrsnitt T9,5 vs. T10,5

Det vurderes at forskjellene i tunneltverrsnitt T9,5 vs. T10,5 ikke har en vesentlig betydning for brannsikkerheten i tunnelen (dvs. snumulighet i normalprofilet, fremkommelighet for nødetater, røykspredning).

Innhold

1 Innledning 7
1.1 Bakgrunn 7
1.2 Formål 7
1.3 Avgrensning 7
2 Kort om tunnelen 8
3 Sannsynlighet for brann og ulykker 9
3.1 TØI-beregninger 9
3.2 Sannsynlighet for ulike brannstørrelser 9
3.2.1 Sannsynlighet for «worst case-scenario» 10
3.3 Oppsummering 11
4 Evakuering ved hjelp av eget kjøretøy eller til fots 12
4.1 Evakuering ved hjelp av eget kjøretøy 12
4.2 Evakuering til fots 12
4.2.1 Oppsummering evakuering til fots 14
5 Tiltak for deteksjon, varsling og evakuering 17
5.1 Eksplisitt varsling – informasjon om type hendelse 17
5.1.1 Informasjon via PA-anlegg 17
5.1.2 Akustiske ledesystemer 18
5.1.3 Kontinuerlig evakueringsbelysning (LED lyslist) 18
6 Avstand mellom tilfluktsrom 20
6.1 Mulighet for større avstand mellom tilfluktsrom – gitt restriksjoner for tunge kjøretøy i tunnelen 21
6.2 Størrelse på tilfluktsrom 22
7 Tunnelprofil T10,5 vs. T9,5 23
7.1.1 Mulighet for å snu kjøretøyet i tunnelprofilet 23
7.1.2 Fremkommelighet for nødetater 23
7.1.3 Røykspredning i tunnelprofilet 23
7.1.4 Trafikksikkerhet 23
8 Oppgradering av redningstjenesten 25
9 Eksempler på løsninger med tilfluktsrom 26
9.1 Kort om bruk av tilfluktsrom uten tilgang til det fri 26
9.2 Flekkerøytunnelen 27
9.3 Frøyatunnelen 28
9.4 Oslofjordtunnelen 28
10 Oppsummering 29

10.1 Anbefalt løsning 29
10.2 Mulighet for større avstand mellom tilfluktsrom – gitt restriksjoner for tunge kjøretøy i tunnelen 30
11 Referanser 31

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Norconsult sin vurdering i prosjektet har vært at det er mulig å ivareta sikkerheten i tunnelen uten tilfluktsrom, dersom det blant annet etableres forsterket beredskap, nødvendig styring av ventilasjonen og gjøres en vurdering av om det er nødvendig å legge restriksjoner på tungbiltrafikken. Det har imidlertid også vært påpekt at betydelig endret trafikkmengde vil kunne gjøre det nødvendig med tilfluktsrom.

Dersom tiltaket med forsterket beredskap ikke kan gjennomføres, eller det vurderes at sikkerheten ved en slik løsning ikke er tilstrekkelig robust, vurderes det å være behov for en løsning med tilfluktsrom for å ivareta muligheten for selvredning.

1.2 Formål

Hovedformålet med denne rapporten er å vurdere en løsning med tilfluktsrom. I tillegg er det gjort en overordnet vurdering av tiltakene forsterket beredskap og restriksjoner for tunge kjøretøy, samt om tunnelprofil T9,5 eller T10,5 har betydning for brannsikkerheten i tunnelen.

1.3 Avgrensning

Det er tidligere gjennomført risikovurderinger i prosjektet. Denne rapporten er et supplement til tidligere vurderinger, og er begrenset til å vurdere spesifikke forhold som omtalt under formål. Denne rapporten er ikke en fullstendig risikovurdering.

2 Kort om tunnelen

Tabell 1 Nøkkeldata

Tunnelnavn	Suðuroyartunnilin	Kommentar
Lengde	22 818 meter	Inkludert portalkonstruksjoner
ÅDT (2050)*	2000	Basert på tall fra trafikkanalysen [1]
Tungtrafikkandel (2050)**	7 %	Basert på tall fra rapport utført av Sweco [2]
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 [2] legges det til grunn ÅDT (2030) på 1300 kjt. Trafikkprognosen i «Vurdering af trafikkmodel og mulig trafik i Suðuroyartunnilin» [1] 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 [2]. Det foreligger ikke prognoser/estimater for fremtidig tungtrafikk.*

3 Sannsynlighet for brann og ulykker

Som beskrevet i risikovurdering for Suðuroyartunnilin [3] har Transportøkonomisk institutt (TØI) utviklet et beregningsverktøy i Microsoft Excel for vegtunneler i Norge for å beregne antall branner (inkl. tilløp til brann), personskadeulykker (PSU) og ulykker med drepte eller hardt skadde (DHSU). Beregningsverktøyet er benyttet for Suðuroyartunnilin.

3.1 TØI-beregninger

For beregningene er følgende parametere lagt til grunn:

- Tunnellengde 22 818 meter
- ÅDT (2050) er 2000
- Tungtrafikkandel 7%
- Ettløpstunnel
- Fartsgrense 80 km/t
- Tunnelprofil T9,5 med frihøyde over 4,5 meter
- Stigning 5 % eller høyere (maks stigning i tunnelen er 5 %)
- Lengde med stigning over 5 % er 5000 meter, henholdsvis ca. 2000 meter og 3000 meter på Sandøy- og Suðuroyarsiden av tunnelen.
- Minste kurveradius satt til 600+ meter

Resultatet fra TØI-beregninger for Suðuroyartunnilin er vist i Tabell 2.

Tabell 2 TØI-beregninger for Suðuroyartunnilin

Type hendelse	Antall hendelser per år	Tid mellom hendelser
Personskadeulykke (PSU)	0,688	1,5 år
Ulykker med drepte eller hardt skadde (DSU)	0,099	10,1 år
Brann lette kjøretøy (inkl. tilløp til brann)	1,137	0,9 år
Brann tunge kjøretøy (inkl. tilløp til brann)	0,177	5,6 år

3.2 Sannsynlighet for ulike brannstørrelser

PIARC har utarbeidet en sannsynlighetsfordeling for ulike brannstørrelser, basert på en statistisk modell og ekspertvurderinger [4][5]. Fordelingen er gjengitt i Tabell 3.

Tabell 3 Fordeling av brannstørrelser basert på ekspertvurderinger/statistisk modell

	Lette kjøretøy	Tunge kjøretøy
1 MW	70 %	20 %
5 MW	25 %	31 %
25 MW	5 %	25 %
50 MW		16 %
100 MW		6 %
200 MW		2 %
	100%	100 %

Fordelingen i Tabell 3 er basert på branntilløp som er utviklet til brann. Ifølge statistikk for branner og tilløp til branner i norske vegtunneler i perioden 2008-2021, har ca. 60% av de registrerte hendelsene utviklet seg til en reell brann [6]. Det legges derfor til grunn at 60 % av brannhendelsene i Tabell 2 (TØI-beregningene) utvikles til en brann. Basert på dette, samt fordeling av brannstørrelser som vist i Tabell 3, er sannsynlighet for ulike brannstørrelser beregnet og oppsummert i Tabell 4.

Tabell 4 Sannsynlighetsfordeling av brannstørrelser for Suðuroyartunnilin (tid mellom hendelser)

	Suðuroyartunnilin	
	Lette kjøretøy	**Tunge kjøretøy**
1 MW	2 år	47 år
5 MW	6 år	30 år
25 MW	29 år	38 år
50 MW		59 år
100 MW		157 år
200 MW		471 år

3.2.1 Sannsynlighet for «worst case-scenario»

Det vurderes at sannsynligheten for at brannen oppstår i den midtre delen av tunnelen ikke skiller seg vesentlig fra sannsynligheten for at brannen oppstår nær et av portalområdene. Sannsynligheten for ulykke med personskade er generelt høyere i eller ved portalområder enn i tunnelens midtsone, men statistikken viser at den samme fordelingen ikke er tilfelle for brannhendelser [6].

TØI-beregningene indikerer at brann i lett kjøretøy (inkl. tilløp til brann) vil oppstå hvert 0,9 år i tunnelen, og at brann i tungt kjøretøy (inkl. tilløp til brann) vil oppstå hvert 5,6 år.

Sannsynligheten for at en brann oppstår på et uheldig sted («worst case-plassering») vil imidlertid være betraktelig lavere. Det er gjennomført forenklede sannsynlighetsberegninger for brann på spesifikke worst case-plasseringer i tunnelen, for å synliggjøre dette.

Det er i denne vurderingen lagt til grunn en worst case-plassering som er i området 650-750 m fra nærmeste snunisje i ventilasjonsretningen. Denne plasseringen samsvarer med dimensjonerende scenario som er lagt til grunn i tidligere gjennomført risikoanalyse [3], og vil være utfordrende med hensyn til at flere kjøretøy kan bli fanget i røyken og det kan bli behov for evakuering til fots.

Det er lagt til grunn 1000 m mellom snunisjene. En slik «worst case»-plassering vil dermed opptre med jevne mellomrom i tunnelen. Gitt den forenklede forutsetningen om at en worst case-plassering opptrer i ca. 10 % av tunnellengden, samt at sannsynligheten for brann er jevnt fordelt i tunnelen, vil det statistisk sett kunne oppstå brann eller tilløp til brann, på mest uheldige sted, i lette kjøretøy hvert 9. år og i tunge kjøretøy hvert 56. år.

Hva som er mest uheldige plassering av brann vil selvsagt være avhengig av endelig løsning, med plassering av snu- og havarinisjer og eventuelle tilfluktsrom.

Tar man hensyn til at et worst case-scenario skal opptre både på mest uheldige sted og samtidig som det er rushtrafikk i tunnelen, vil sannsynligheten reduseres ytterligere.

3.3 Oppsummering

Generelt er det en forhøyet brannrisiko i bratte, undersjøiske tunneler. Undersjøiske vegtunneler, eller tunneler med høy stigningsgrad (5 % eller mer), er betydelig overrepresentert i statistikken over branner og branntilløp i kjøretøy i norske vegtunneler [6].

Stigning er altså den viktigste predikatoren for antall branner, ved siden av trafikkmengde og tunnellengde. Antall branner øker med økende stigningslengde. Imidlertid øker antall branner betydelig mer med økende stigningslengde dersom stigningen er over 7%.

Statistisk sett vil Suðuroyartunnilin ha noe forhøyet brannrisiko som følge av stigning på 5 % i hver ende av tunnelen. Videre er tunnellengden av betydning. Det påpekes i TØIs kartlegging over brann i norske vegtunneler i 2008-2021 [6] at tunneler som er mellom fire og 10 km lange, i gjennomsnitt har omtrent tre ganger så mange branner per million kjøretøykilometer som tunneler som er under 300 m. Trolig henger dette sammen med at de fleste undersjøiske tunneler er i denne kategorien og at disse er brattere, og av den grunn har flere branner enn andre tunneler.

Statistikken/beregningene tilsier at brann eller tilløp til brann, både i lett og tungt kjøretøy, vil kunne forekomme i tunnelen. Sannsynligheten for et worst case-scenario, med en stor brann på mest uheldige sted, på et tidspunkt hvor det er mye trafikk i tunnelen og det vil bli behov for evakuering til fots, er imidlertid lav.

4 Evakuering ved hjelp av eget kjøretøy eller til fots

4.1 Evakuering ved hjelp av eget kjøretøy

I hvor stor grad evakuering i eget kjøretøy utgjør en vellykket evakueringsstrategi for en tunnel er avhengig av flere parametere, som reaksjon- og varslingstider, antall involverte kjøretøy og type kjøretøy, tunnelgeometri og snumulighet i tunnel slik som avstand mellom havari- og snunisjer samt mulighet til å snu i normalprofilet. Individuell manøvreringsevne og hvilken informasjon de evakuerende har om situasjonen de befinner seg i vil også kunne være svært betydningsfullt i en evakueringssituasjon. De ulike parameterne vil i ulik grad påvirke hvor raskt trafikantene vil ha mulighet til å evakuere tunnelen.

Basert på statistikk fra kjøretøybranner i norske tunneler i perioden 2008-2021 [6] er det et fåtall av brannene som forårsakes av kollisjon mellom kjøretøy. Branner og tilløp til brann som er registrert med årsak kollisjon er kun 4 %. Fordelingen er relativ lik for tunge og lette kjøretøy.

Kjøretøy som befinner seg i tunnelen ved brannstart, eller som kjører inn før stenging, forventes derfor å enten kunne kjøre forbi brannstedet i den tidlige fasen av brannen og fortsette ut gitt at kjørefelt ikke er blokkert, eller snu og kjøre ut.

Det kan imidlertid oppstå situasjoner hvor kjøretøy ikke har mulighet til å kjøre forbi brannstedet og må snu for å kunne evakuere med eget kjøretøy. Det kan da skje at kjøretøyet ikke har mulighet til å snu, eksempelvis tunge kjøretøy som ikke får snudd og som kan hindre andre i å kjøre ut, eller at det er flere kjøretøy involvert i hendelsen som sperrer vegbanen. Erfaring fra tidligere brannhendelser i Norge viser at tunge/større kjøretøy er spesielt sårbare ifm. evakuering. Det påpekes blant annet at vogntog som må snu vil bruke relativt lang tid på dette, og vil tidvis også blokkere begge kjørefelt. Selv i en tømt tunnel, og i røykfritt miljø, vil tidsbruken på grunn av rygging være utfordrende [14].

4.2 Evakuering til fots

Det er gjennomført beregninger og vurderinger av mulighet for selvredning til fots, inklusive beregninger av røykens toksiske effekt og sikt ved evakuering; FED-beregninger (Fractional Effective Dose). Se risikovurderingen [3] for beskrivelse av metodikk.

Beregningene er benyttet for å vurdere hvor lang tid evakuerende til fots har tilgjengelig for ulike brannstørrelser i tunnelen. Tid før grenseverdien for inkapasitans nås (akkumulert røykdose er så stor at man ikke er i stand til å evakuere lenger), vil være svært avhengig av blant annet brannutvikling og ventilasjonshastighet. Ganghastigheten vil også variere, avhengig av flere forhold slik som stigning, sikt og personers fysikk. I NordFoU-prosjektet [18] ble det vurdert en gjennomsnittlig ganghastighet på 1,5 m/s, av et intervall på 0,75-2,25 m/s, der ytterpunktene i intervallet er personer i meget dårlig og meget god form. I oppoverbakke vil ganghastigheten reduseres. Ved evakuering nedover vil ganghastigheten kunne stige 10-20%.

Beregningene som presentert i Tabell 5 gir derfor kun et estimat på tilgjengelig evakueringstid, gitt følgende forutsetninger:

- **Ventilasjonshastighet** 1,5 m/s, som er en relativt høy ventilasjonshastighet ettersom det trolig er mulig å styre ventilasjonshastigheten til rundt 1 m/s. 1,5 m/s vil dermed være en konservativ parameter i beregningene.
- Evakuerende beveger seg bort fra brannen, og forholder seg aktivt til situasjonen.

- **Ganghastighet:** Ved god sikt (mer enn 10 m) er det benyttet en gjennomsnittlig ganghastighet på 1,0 m/s. Etter hvert som de evakuerende blir tatt igjen av røyken tar beregningene høyde for en redusert ganghastighet som følge av redusert sikt, ned til 0,3 m/s når sikten er svært lav/lik null.
- **Reaksjonstid evakuering** 4 min

Tabell 5 Estimat på tilgjengelig evakueringstid avhengig av brannstørrelse, brannutvikling og ventilasjonshastighet før grenseverdi for inkapasitans inntreffer, gitt ganghastighet 1 m/s og start evakuering 4 min

Brann-størrelse	Brannutvikling	Ventilasjons-hastighet	Tilgjengelig evakueringstid og evakueringslengde før grense-verdi for inkapasitans inntreffer
5 MW	Rask brannutviklingshastighet	1,5 m/s	78 min / 3819 m
20 MW	Middels brannutviklingshastighet første 5 min, deretter rask brannutvikling	1,5 m/s	37 min / 1510 m
	Rask brannutviklingshastighet		30 min / 1105 m
50 MW	Middels brannutviklingshastighet	1,5 m/s	48 min / 2184 m
	Sakte brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling.		41 min / 1866 m
	Middels brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling *		**40 min / 1804 m**
	Rask brannutviklingshastighet		27 min / 1001 m
100 MW	Middels brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling	1,5 m/s	40 min / 1804 m
	Rask brannutviklingshastighet første 10 min, deretter ultrarask brannutvikling		26 min / 1055 m

** Dimensjonerende scenario i [3]*

I tillegg er det gjennomført beregninger med en **ganghastighet på 0,75 m/s**. Se Tabell 6.

Tabell 6 Estimat på tilgjengelig evakueringstid avhengig av brannstørrelse, brannutvikling og ventilasjonshastighet før grenseverdi for inkapasitans inntreffer, gitt ganghastighet 0,75 m/s og start evakuering 4 min

Brann-størrelse	brannutvikling	Ventilasjons-hastighet	Tilgjengelig evakueringstid og evakueringslengde før grense-verdi for inkapasitans inntreffer
5 MW	Rask brannutviklingshastighet	1,5 m/s	77 min / 3363 m
20 MW	Middels brannutviklingshastighet første 5 min, deretter rask brannutvikling	1,5 m/s	33 min / 1108 m
	Rask brannutviklingshastighet		28 min / 901 m
50 MW	Middels brannutviklingshastighet	1,5 m/s	41 min / 1518 m
	Sakte brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling		34 min / 1218 m
	Middels brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling		33 min / 1190 m
	Rask brannutviklingshastighet		24 min / 785 m
100 MW	Middels brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling	1,5 m/s	33 min / 1190 m

	Rask brannutviklingshastighet første 10 min, deretter ultrarask brannutvikling		22 min / 719 m

Videre er det gjennomført beregninger med **lengre reaksjonstid før evakuering starter**. Det er sett på ulike verdier mellom 5-9 minutter (start evakuering). For beregningene benyttes ganghastighet på 1 m/s. Se Tabell 7 for beregninger for reaksjonstid evakuering satt til 6 min.

Beregningene viser at ved lengre reaksjonstid før evakuering starter vil tilgjengelig handlingsrom og lengden evakuerende kan gå før grenseverdi for inkapasitans inntreffer reduseres.

Tabell 7 Estimat på tilgjengelig evakueringstid avhengig av brannstørrelse, brannutvikling og ventilasjonshastighet før grenseverdi for inkapasitans inntreffer, gitt ganghastighet 1 m/s og start evakuering 6 min

Brann-størrelse	Brannutvikling	Ventilasjons-hastighet	Tilgjengelig evakueringstid og evakueringslengde før grense-verdi for inkapasitans inntreffer
5 MW	Rask brannutviklingshastighet	1,5 m/s	76 min / 3559 m
20 MW	Middels brannutviklingshastighet første 5 min, deretter rask brannutvikling	1,5 m/s	33 min / 1163 m
	Rask brannutviklingshastighet		27 min / 772 m
50 MW	Middels brannutviklingshastighet.	1,5 m/s	44 min / 1824 m
	Sakte brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling.		37 min / 1497 m
	Middels brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling.		35 min / 1395 m
	Rask brannutviklingshastighet		23 min / 641 m
100 MW	Middels brannutviklingshastighet første 10 min, deretter rask brannutvikling	1,5 m/s	35 min / 1395 m
	Rask brannutviklingshastighet første 10 min, deretter ultrarask brannutvikling		20 min / 546 m

4.2.1 Oppsummering evakuering til fots

Brannutviklingshastigheten de første minuttene etter brannstart har stor påvirkning på resultatene. Dette fordi disse minuttene vil være avgjørende for om personene klarer å starte evakuering før sikten er blitt så dårlig at evakueringen påvirkes betydelig, samt at den toksiske effekten av røyken vil være mindre i startfasen av brannen når det produseres mindre røyk. Sikten vil også påvirke ganghastigheten. Dersom de evakuerende klarer å gå i front av røyken en stund vil dette være svært avgjørende for hvor mye toksisk røyk de puster inn, og følgelig ha stor påvirkning på hvor lenge de kan gå i røyken. Normalt vurderes det at ganghastigheten reduseres når sikten blir under 10 m.

Ut fra beregningene ser man også at lengre reaksjonstid før evakuering iverksettes reduserer tilgjengelig evakueringstid og -lengde betraktelig.

Ganghastigheten påvirker naturlig nok også tilgjengelig evakueringstid og -lengde.

Det presiseres at beregningene som er utført er teoretiske beregninger forbundet med (stor) usikkerhet. Det er lagt til grunn at personer evakuerer uten å stoppe opp eller gå motsatt vei på noe tidspunkt. Beregningene

illustrerer et spenn av hendelser/scenarier som kan oppstå i tunnelen, og viser at parametere som brannstørrelse, brannutviklingshastighet, ganghastighet og reaksjonstid til dels har stor betydning for evakueringstid og -lengde.

5 MW brann (personbilbrann)
Tilgjengelig evakueringstid er typisk 70-80 minutter, og det vurderes at man kan gå lange strekk, dvs. mer enn 3000 m, før inkapasitansgrensen nås. Resultatene påvirkes noe av redusert ganghastighet og lengre reaksjonstid, men tidene/lengdene vil uansett være robuste med hensyn til å kunne evakuere et lengre strekk til fots i tunnelen.

20 MW brann (bussbrann)
De presenterte beregningene er utført for et typisk bussbrann-forløp med rask brannutviklingshastighet.

20 MW representerer typisk en bussbrann. Brann i buss starter ofte i motorrommet eller elektriske komponenter, men kan utvikle seg raskt på grunn av de mange brennbare materialene som finnes i seter og interiør, og ellers i oppbygningen av bussen.

De teoretiske evakueringstidene og -lengdene er i området 27-30 min og ca. 770 m – 1100 m, avhengig av ganghastighet og reaksjonstid.

Den korteste evakueringslengden i beregningene, 770 m, representerer et scenario med rask brannutvikling, ganghastighet på ca. 1 m/s, og med lang reaksjonstid (6 min) før evakuering iverksettes.

Ved rask brannutvikling vil det altså være særlig viktig å starte evakuering tidlig, samt å opprettholde en raskere ganghastighet slik at man klarer å gå tilnærmet i front av røyken.

50 MW brann (brann i tungt kjøretøy)
I risikovurderingen [3] er det lagt til grunn et dimensjonerende scenario på 50 MW brann i tungt kjøretøy, med følgende brannutviklingskurve:

- Første 10 minutter: medium brannutviklingshastighet før spredning til brennbar last
- Etter 10 minutter: rask brannutviklingshastighet

Dette scenarioet er basert på at brannstart i et tungt kjøretøy normalt ikke skjer i selve lasten, men i tilknytning til motor eller varmgang i roterende deler (hjul/ bremser/ lagre/ o.l.), før brannen spres til resten av kjøretøyet og lasten.

De teoretiske beregningene av den toksiske effekten viser at det, for dimensjonerende scenario, vil være mulig å evakuere en relativt lang avstand i tunnelen, gitt forutsetningene og betingelsene som beskrevet. Den teoretiske lengden det vil være mulig å evakuere er ca. 1800 m for dette scenariet.

Redusert ganghastighet (0,75 m/s) gjør at evakueringslengden reduseres til 1190 m, og lengre reaksjonstid (6 min) gjør at evakueringslengden reduseres til 1395 m.

Sensitivitetsvurderingene viser også at dersom en 50 MW brann i tungt kjøretøy utvikler seg med rask hastighet påvirker dette evakueringsmulighetene i stor grad.

Den korteste evakueringslengden, 641 m, representerer en 50 MW brann med rask brannutvikling, ganghastighet på ca. 1 m/s, og med noe lang reaksjonstid (6 min) før evakuering iverksettes.

100 MW brann (brann i tungt kjøretøy)

Branneffekt for brann i tunge kjøretøy kan variere, avhengig av kjøretøyets last og brennstoff.

For en 100 MW brann i tungt kjøretøy viser beregningene stor variasjon på evakueringslengdene, hvor brannutviklingshastighet vil være av stor betydning.

Den korteste evakueringslengden, 546 m, representerer en 100 MW brann med rask brannutvikling, ganghastighet på ca. 1 m/s, og med noe lang reaksjonstid (6 min) før evakuering iverksettes.

5 Tiltak for deteksjon, varsling og evakuering

5.1 Eksplisitt varsling – informasjon om type hendelse

Ved brann i tunnel må dette tydelig kommuniseres til trafikantene. Ifølge SINTEF-rapport *Litteraturundersøkelse – selvredning i vegtunneler* [7] er det påvist at aktivering av et skilt med teksten «snu og kjør ut» ikke er tilstrekkelig for å endre atferd og få trafikanter til å snu i ønsket retning. På «snu og kjør ut»-skiltene i tunnelen bør det tydelig fremkomme dersom det er brann som er årsaken. SINTEF påpeker i sin rapport at dersom varslingen inneholder en kort redegjørelse om type nødsituasjon, for eksempel «Brann i tunnel» eller «Kjøretøy i brann lenger fram», i tillegg til «Snu og kjør ut», vil trafikanter forstå alvoret i situasjonen, noe som gir større sannsynlighet for ønsket atferd.

Statens havarikommisjon for Transport (SHT) har fremmet en tilsvarende tilrådning i sin rapport om bussbrannen i Gudvangatunnelen i 2015 [8] om umiddelbar varsling av trafikantene om brann. Tilsvarende ble også iverksatt som konsekvensreduserende tiltak i Oslofjordtunnelen i etterkant av brannen i 2017, hvor tekst med «Snu og kjør ut» ble endret til «Snu og kjør ut + Brann/Fire». I tillegg ble skilt utenfor tunnelportaler endret fra «Stengt tunnel» til «Stengt tunnel + Brann/Fire» [9].



Figur 1 Viser forsterket varsling av brann utenfor Oslofjordtunnelen

5.1.1 Informasjon via PA-anlegg

Det vil kunne være avgjørende at kjøretøyene som befinner seg nær brannen får informasjon om hvordan de skal forholde seg til situasjonen. Dette kan gjøres med for eksempel PA-anlegg med innsnakk, der formålet vil være å redusere bilistenes reaksjonstid, altså tiden det tar frem til de iverksetter selvredning. I køen ved brannstedet vil det ikke være noe form for varsling, utover det bilistene selv observerer, og det kan det ta tid å oppfatte hva situasjonen innebærer. Når man er nært opptil brannstedet er rask reaksjon viktig for at man ikke skal bli innhyllet i røyk. PA-anlegg vil kunne gi merverdi for bilister uten mulighet for innsnakk via radio i kjøretøyet, og trafikanter som har forlatt kjøretøyet, og vil kunne være viktig for trafikanter som befinner seg i nærheten til brannen. Dersom beskjeden over PA-anlegget er direkte rettet mot bilistene som befinner seg i brannstrekket, og anlegget kun aktiveres i denne strekningen, vil disse meldingene være viktigere for denne gruppen enn generelle meldinger som sendes ut i hele tunnelsystemet.

5.1.2 Akustiske ledesystemer

Akustiske ledesystemer i tunnelen kan gi mulighet for toveis kommunikasjon mellom trafikant og en kontrollsentral. Ved hjelp av lydsignaler vil en lede trafikantene bort fra brannen, mot tilfluktsrom eller portal. Akustiske ledesystemer fungerer ved at det sendes ut en retningsbestemt lyd med en «psykoakustisk» effekt.



Figur 2 Eksempel på akustisk ledesystem (kilde: Evacsound)

Sintef har gjennomført et fullskala-forsøk i Runehamar testtunnel for å teste om ledelyd kan fungere til å lede evakuerende ut av en røykfylt tunnel. Forsøket som ble gjort gir en tydelig indikasjon på at ledelyd kan brukes til å føre de evakuerende i en ønsket retning, og i tillegg at informasjon om å følge lyden gjør at vesentlig flere går riktig veg [10].

5.1.3 Kontinuerlig evakueringsbelysning (LED lyslist)

Kontinuerlig evakueringsbelysning (LED lyslist) langs tunnelveggen bør være på samme side av tverrsnittet som tilfluktsrommene, og ha en utførelse som gjør at den kan følges med hånden under evakuering i tett røyk.

Eksempel på kontinuerlig evakueringsbelysning montert i Flekkerøytunnelen i Norge er vist i Figur 3.



Figur 3 Kontinuerlig evakueringsbelysning (LED lyslist). Foto: Agder fylkeskommune.

VR-studier av selvredning gjennomført av Sintef viser at kontinuerlig evakueringsbelysning er et godt tiltak som bidrar til at trafikantene lettere orienterer seg i tunnelen ved evakuering. I det aktuelle forsøket valgte 96 % av trafikantene rett side av tunnelen å evakuere på, og de fulgte evakueringsbelysningen fram til nærmeste tilfluktsrom uten å krysse over til motsatt side av tunnelen eller gå forbi tilfluktsrom [11].

6 Avstand mellom tilfluktsrom

Tilgang til tilfluktsrom i lange og/eller bratte ettløpstunneler ved en alvorlig hendelse kan være avgjørende som midlertidig redningsopphold før man blir reddet av nødetatene eller at den enkelte selv kan klare å gå ut [12]. Videre påpekes det at plassering av tilfluktsrom, antall og kapasitet må dimensjoneres for den enkelte tunnel basert på identifiserte risikoscenarioer og trafikk [7][12].

I Tunnelsikkerhetsforskriften er det krav (dersom det finnes nødutganger) at avstanden mellom to nødutganger ikke skal overstige 500 m. Kravet i tunnelsikkerhetsforskriften er at det skal finnes nødutganger i nye tunneler dersom trafikkvolumet overstiger 2000 kjøretøy per kjørefelt. I tillegg skal det finnes nødutganger dersom «en analyse av relevante risikoer, herunder hvor langt og hvor fort røyk beveger seg under forholdene på stedet, viser at ventilasjonen og andre sikkerhetsanlegg ikke er tilstrekkelige til å ivareta trafikantenes sikkerhet».

VR-studier av evakuering i tunnel gjennomført av Sintef viser at avstand mellom tilfluktsrom påvirker tid til selvredning betydelig. I studien var tid brukt til selvredning mer enn fire ganger så lang når avstanden mellom tilfluktsrommene var 500 m versus 250 m [11]. Videre påpekes det at usikkerheten øker når det blir langt til nærmeste tilfluktsrom.

SINTEF-studien av evakuering i tunnel viser at dersom avstanden ved evakuering i røyk blir lang (over 250 m), kan evakuerende gi opp og snu [11]. Forsøk viser imidlertid også at ledelyd (akustiske ledesystemer) har god effekt med hensyn til å lede de evakuerende i ønsket retning. Informasjon om å følge lyden gjør at vesentlig flere går riktig veg og ikke gir opp og snur. VR-studier av selvredning viser også at kontinuerlig evakueringsbelysning er et godt tiltak som bidrar til at trafikantene lettere orienterer seg i tunnelen ved evakuering. I det aktuelle forsøket valgte 96 % av trafikantene rett side av tunnelen å evakuere på, og de fulgte evakueringsbelysningen fram til nærmeste tilfluktsrom uten å krysse over til motsatt side av tunnelen eller gå forbi tilfluktsrom [11].

De teoretiske FED-beregningene (kap. 4.2) indikerer at det vil være mulig å evakuere til dels lange avstander. Dette er teoretiske beregninger som legger til grunn en «gjennomsnittsperson» med tanke på evne til å tåle toksiske røykgasser samt evne til å bevege seg fysisk i tunnelen. Det er lagt til grunn at personen evakuerer uten å stoppe opp eller gå motsatt vei på noe tidspunkt. For alle de belyste scenariene er (den teoretiske) evakueringslengden mer enn 500 m, også dersom det legges til grunn rask brannutvikling og stor branneffekt (100 MW). Den korteste evakueringslengden, 546 m, representerer en 100 MW brann med rask brannutvikling, ganghastighet på ca. 1 m/s, og med lang reaksjonstid (6 min) før evakuering iverksettes, noe som utgjør et meget konservativt scenario.

Basert på vurderingene knyttet til mulighet for å evakuere i røyk (FED-beregningene), samt studiene utført av Sintef, anbefales det å etablere tilfluktsrom med en avstand som ikke overstiger 500 m, i tråd med Tunnelsikkerhetsforskriften. En løsning med tilfluktsrom for hver 500 m må kombineres med en form for PA-anlegg eller akustisk ledesystem for å tilrettelegge for at man går i riktig retning og ikke «gir opp» før man kommer til tilfluktsrommet.

En løsning med tilfluktsrom for hver 500 m vil innebære at muligheten for selvredning ved evakuering til fots til tilfluktsrom eller ut portalen, vil være mulig for de aller fleste brannstørrelser og brannscenarier i tunnelen. Dette innebærer at løsningen vil være robust, og det vil ikke være behov for restriksjoner i bruk av tunnelen. I risikovurderingen [3] er et dimensjonerende scenario på 50 MW brann lagt til grunn. Statistisk sett vil brannstørrelse opptil 50 MW dekke 92 % av alle kjøretøybranner i tunge kjøretøy, gitt at det oppstår en brann (se Tabell 3).

Det er en forutsetning i beregningene og vurderingene at evakuerende beveger seg bort fra brannstedet, grunnet høye temperaturer og svært giftige gasser nær brannstedet utover i brannforløpet. Dersom personer

sitter fast i brennende kjøretøy, eller av andre grunner ikke har mulighet til å ta seg bort fra brannstedet, er det ikke gitt at nødetatene har mulighet til å redde vedkommende ut av tunnelen.

Det kan ikke garanteres at det ikke oppstår større/verre hendelser enn de beskrevne scenariene i kap. 4.2. Dette kan innebære enda større branneffekt og raskere brannutvikling, eller flere kjøretøy, inklusiv buss, som er involvert i en større ulykke. Slike scenarier vil være krevende med hensyn til både selvredning (med potensielt svært mange personer involvert) og beredskap. Dette er imidlertid en usikkerhet som gjelder for alle tunneler, og er ikke spesiell for denne tunnelen. Som angitt over er den anbefalte løsningen i tråd med Tunnelsikkerhetsforskriften som gjelder ellers i Europa.

For de fleste hendelser vil det være mulig å evakuere tunnelen i eget kjøretøy. AID med rask varsling og stenging av tunnelen, samt at det vil være mulig å passere brannstedet de første minuttene etter brannstart, gjør at sannsynligheten for å måtte evakuere til fots er betraktelig redusert. Dersom det skulle oppstå en situasjon hvor man må gå ut av kjøretøyet og evakuere til fots vil evakuering være spesielt utfordrende for personer med redusert mobilitet. Dette fordi personer med nedsatt mobilitet vil kunne ha vesentlig lavere evakueringshastighet enn det som er lagt til grunn i beregningene. En avstand på 500 m mellom tilfluktsrommene gjør imidlertid selvredning vesentlig lettere enn ved lengre evakueringsavstander. Rullestolbrukere og personer med redusert mobilitet vil likevel kunne ha behov for hjelp fra andre trafikanter eller nødetater.

6.1 Mulighet for større avstand mellom tilfluktsrom – gitt restriksjoner for tunge kjøretøy i tunnelen

Sammenhengen mellom tunge kjøretøy og brann er undersøkt i flere studier. Fra kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2021 påpekes det at tunge kjøretøy er overrepresentert i tunnelbrann. Dette spesielt i kombinasjon med høy stigningsgrad. Dette er i tråd med tidligere forskning i Norge og internasjonalt [6].

Restriksjoner for tungtrafikken (inkludert transport av farlig gods) vil kunne ha stor betydning for sannsynligheten for at store branner oppstår på ugunstige tidspunkt. I praksis vil et slikt tiltak bety at det ikke er aktuelt med tungtrafikk i tidsrom hvor det er forventet mye annen trafikk, herunder spesielt i tidsrom det kjøres mye turistbusser samt i rushtidene.

Restriksjoner for tungtrafikken kan også innebære begrensning i antall tunge kjøretøy som tillates i tunnelen samtidig for ulike tidsrom. Dette kan for eksempel kombineres med forbud i rushtid.

Dette betyr at dimensjonerende brann, i tidsrom hvor tunge kjøretøy *ikke tillates* i tunnelen, vil begrenses til en brann i buss, bobil, campingvogn eller tilsvarende. Uten tunge kjøretøy i tunnelen vil sannsynligheten for store branner (> 20-30 MW) og worst case-scenarier med svært høye branneffekter kombinert med rask brannutvikling være eliminert.

En bussbrann forventes å være i størrelsesorden 20 MW, og kan typisk ha en rask brannutvikling som beskrevet i kap. 4. De teoretiske evakueringstidene og -lengdene beregnet for bussbrann er i området 27-30 min og ca. 770 m – 1100 m, avhengig av ganghastighet og reaksjonstid. Den korteste evakueringslengden i beregningene, 770 m, representerer et scenario med rask brannutvikling, ganghastighet på ca. 1 m/s, og med lang reaksjonstid (6 min) før evakuering iverksettes.

Gitt restriksjoner for tungtrafikken vurderes det derfor at avstanden mellom tilfluktsrom kan økes til 750 m. Dette innebærer at restriksjoner innføres i tilstrekkelig grad, dvs. i alle perioder med forventet mye annen trafikk eller høy andel turistbusser. Det bemerkes at det vil være behov for en mer detaljert vurdering av dette, dvs. i hvilke tidsrom det skal være restriksjoner og om dette innebærer forbud eller en kombinasjon av forbud og begrensning på antall tunge kjøretøy i tunnelen samtidig.

Dersom avstanden mellom tilfluktsrommene øker, vil det være særlig viktig å starte evakuering tidlig. Det vil da være nødvendig å etablere tiltak som gjør at evakuerende oppfatter situasjonen raskt, og iverksetter evakuering på riktig måte. Dette innebærer blant annet AID for tidlig varsling, eksplisitt varsling/skilting av brann i tunnelen, akustisk ledesystem for å tilrettelegge for at man går i riktig retning og ikke «gir opp», samt kontinuerlig evakueringsbelysning.

Det kan fortsatt oppstå brann i tunge kjøretøy i tunnelen, i tidsrom hvor det tillates et begrenset antall tunge kjøretøy eller ikke er restriksjoner for tungtrafikken. Dersom det oppstår en brann i et tungt kjøretøy vil sannsynligheten imidlertid være stor for at dette da skjer uten at flere kjøretøy er involvert, og faren for at det er personer som må evakuere til fots i tunnelen er betraktelig redusert.

Det presiseres at denne løsningen vil være mer sårbar enn en løsning med tilfluktsrom hver 500 m. I dette ligger det at restriksjoner for tungtrafikken er et tiltak som over tid vil kunne reverseres om ikke riktige vurderinger gjøres, og at risikobildet i tunnelen også vil kunne påvirkes av fremtidige endringer i trafikksammensetning og trafikkmengde. I tillegg vil løsningen være mer sårbar med hensyn til personer med redusert mobilitet.

Norconsult anbefaler derfor at dersom det legges til grunn en løsning med økt avstand mellom tilfluktsrom bør det vurderes (i tillegg til restriksjoner for tungtrafikken) tiltak som begrenser en eventuell bussbrann, slik som slokkeanlegg i buss. Slike slokkeanlegg er montert i motorrom på bussen, og vil kunne bidra til at branntilløp slokkes eller får en forsinket brannvekst. Her finnes det flere løsninger på markedet, og det vurderes ikke som et spesielt kostnadskrevende krav å stille til eiere av busser som skal trafikkere i tunnelene.

6.2 Størrelse på tilfluktsrom

Det forventes at det vil være flere turistbusser i tunnelen. Tilfluktsrommene bør derfor dimensjoneres for å kunne håndtere et antall personer som typisk befinner seg på en turistbuss. Dette betyr at det bør dimensjoneres for ca. 50 personer, og tilfluktsrommene bør da ha et gulvareal på ca. 35-50 m^2.

7 Tunnelprofil T10,5 vs. T9,5

Tunnelprofil T10,5 vs. T9,5 er overordnet vurdert for å belyse forskjeller med tanke på blant annet snumulighet i normalprofilet, fremkommelighet for nødetater, røykspredning og trafikksikkerhet.

Fra tidligere gjennomført risikovurdering [3] er tunnelprofil T9,5 med kjørebanebredde 2 x 3,5 m og 0,25 m skulder lagt til grunn.

7.1.1 Mulighet for å snu kjøretøyet i tunnelprofilet

Snumulighet vil bli noe bedre i et bredere tverrsnitt slik som T10,5 som følge av 1 m økt bredde. Tyngre kjøretøy vil imidlertid ikke ha mulighet til å snu i normalprofilet, annet enn ved snunisjer. Lengre kjøretøy (vogntog, semitrailere og busser) vil også i liten grad kunne benytte seg av havarinisjer.

Mindre kjøretøy (personbiler) vil kunne snu raskere i et bredere tunnelprofil, men forskjellen i snumulighet vurderes ikke å ha en betydelig effekt. Effekten av økt bredde er tilknyttet at det kan gå litt raskere å snu, mer enn at det er forskjellen på om det er mulig å snu eller ikke.

Samlet vurderes det ikke å være noen signifikant forskjell på muligheten for å snu i tunnelen mellom T9,5 og T10,5.

7.1.2 Fremkommelighet for nødetater

Smalere skulderbredde eller kjørefelt innebærer at fremkommeligheten for nødetatene vil være noe redusert i et T9,5-profil sammenlignet med et T10,5-profil.

Som følge av den lave trafikkmengden vurderes det imidlertid at faren for at det står biler som blokkerer begge kjørefelt er svært lav. Om det er T10,5- eller T9,5-profil vurderes derfor å være av liten betydning for nødetatenes fremkommelighet.

7.1.3 Røykspredning i tunnelprofilet

Norconsult vurderer at forskjellen i tunneltverrsnitt ikke har en vesentlig betydning for hastigheten på røykspredningen, selv om tilgjengelig volum er mindre i et T9,5-tverrsnitt enn i et T10,5-tverrsnitt. Hastigheten på røykspredningen må uansett kontrolleres av ventilasjonsanlegget, uavhengig av tunneltverrsnittet. Det er vurdert at det trolig er gjennomførbart å styre hastigheten på røykspredningen til ca. 1 m/s uavhengig av om det benyttes T9,5 eller T10,5. For å være konservativ i beregningene av evakueringsmulighet, som gjennomgått tidligere i rapporten, er det der benyttet en røykventilasjonshastighet på 1,5 m/s. Dette er imidlertid uavhengig av tunnelprofilets størrelse.

For røykspredningen i tunnelen er derfor vurderingen at det ikke avhenger av tunneltverrsnittet, men av dimensjoneringen og styringen av røykventilasjonsanlegget i tunnelen.

7.1.4 Trafikksikkerhet

Denne analysen er begrenset til brannsikkerhet. Dette punktet vedr. trafikksikkerhet er derfor helt overordnet vurdert.

Tunneler har som regel lavere ulykkesrisiko enn sammenlignbare veger i dagen. Tunneler medfører imidlertid en del spesifikke sikkerhetsproblemer som skiller seg fra veg i dagen.

Studier viser at kjøreadferden endrer seg i tunneler, eksempelvis at mange øker avstand fra kantlinje og/eller bremser ned ved innkjøring i tunnelen [15]. Et smalere tunnelprofil vil antagelig forsterke disse forholdene. Redusert skulderbredde kan medføre at bilister trekker lengre ut fra tunnelveggen, og ligger nærmere midten

av tunnelen. Dette kan føre til flere ulykker ved forbikjøringer. Det er imidlertid ikke funnet nyere statistikk som viser sammenhengen mellom ulykkesrisiko og vegbredde i tunneler.

Bruk av forsterket vegoppmerking vil også være relevant. Bruk av forsterket vegoppmerking i form av kant- og/eller midtoppmerking har en stor effekt som varsling for trafikanter som uforsvarende er på vei ut av sitt kjørefelt. For ettløpstunneler, med trafikk i begge retninger, vil forsterket midtoppmerking varsle om at man forlater kjørefeltet. Forsterket midtoppmerking vil kunne benyttes ved både tunnelprofil T10,5 og T9,5 (eksempelvis med 0,5 m bred forsterket midtoppmerking).

Den lange tunnellengden gjør at det bør fokuseres på tiltak som reduserer monotoni, og dermed reduserer faren for innsovning, utforkjøring og kollisjon med motgående kjøretøy. Dette gjelder uavhengig av tunneltverrsnitt.

8 Oppgradering av redningstjenesten

I tidligere risikovurdering [3] har løsningen uten bruk av tilfluktsrom hatt krav til seg om oppgradering av redningstjenesten/ forsterket beredskap. Med dette menes beredskap utover det som vanligvis er nødvendig for tunnelen. Løsning uten tilfluktsrom krever at røykfri del klareres raskest mulig, slik at røykventilasjonsretningen kan snus, og personer som er på røykfylt side får frisk luft og kan hentes ut av tunnelen før kritisk oppholdstid i røyk nås. Dette vil kreve at redningsmannskaper alltid er tilgjengelig på hver side av tunnelen, og at de er nært plassert tunnel.

Dersom redningsmannskapene skal ha en aktiv rolle i personsikkerheten ved brann må beredskapen derfor tilpasses og forsterkes slik at dette vil være mulig. Følgende beredskapstiltak vurderes å være nødvendig ved et slikt tilfelle:

- Brannstasjon må være plassert nær hver tunnelportal. Avstand er ikke vurdert i detalj, men med «nær» vurderes kjøretid frem til portal å være ca. 5 minutter.
- 2 kasernerte mannskaper på hver stasjon (dvs. døgnbemannet med 2 mannskaper).
- Tilpasset utrykningskjøretøy på hver stasjon for å sikre rask utrykning og evakuering av personer som trenger hjelp for å komme seg ut.

Det bemerkes her at dette ikke er diskutert med stedlig brannvesen/ redningstjeneste. Beskrevne krav over vurderes som minimumskrav, men stedlig redningstjeneste vil kunne ha synspunkter på både antall nødvendige mannskaper for å kunne gjøre en slik innsats, og hvilken type kjøretøy som er nødvendig.

9 Eksempler på løsninger med tilfluktsrom

9.1 Kort om bruk av tilfluktsrom uten tilgang til det fri

Sintef har gjennomført en litteraturundersøkelse for å finne erfaring med bruk av tilfluktsrom og kunnskap som kan styrke trafikantenes mulighet for selvredning [19]. Erfaring og kunnskap er hovedsakelig hentet fra faktiske hendelser, fullskalaforsøk og simuleringer. Ved evakuering til fots i vegtunneler er det dokumentert at tilfluktsrom øker overlevelsesmuligheten betraktelig.

Den tunnelfaglige utredningen, som er gjennomført av Statens vegvesen i samarbeid med Sintef og Lund universitet i Sverige, viser følgende:

- Det er dokumentert gjennom VR-simuleringer (Virtual Reality) at trafikantene kan finne tilfluktsrom i vegtunneler fylt med tykk svart røyk.
- Det er dokumentert hvordan folk oppfatter sitasjonen og hvordan folk oppfører seg – altså hvordan folk opplever å oppholde seg trygt i tilfluktsrom over en periode.
- Effekten av visuelle og akustiske evakueringssystemer, som hjelp til å finne tilfluktsrommet, er dokumentert.
- Det er dokumentert at ingen prøvde å forlate tilfluktsrommet på egen hånd.
- Det er dokumentert at belysning og separasjon av sikkerhetstiltak er viktig for opplevd sikkerhet og trygghet i tilfluktsrommet.

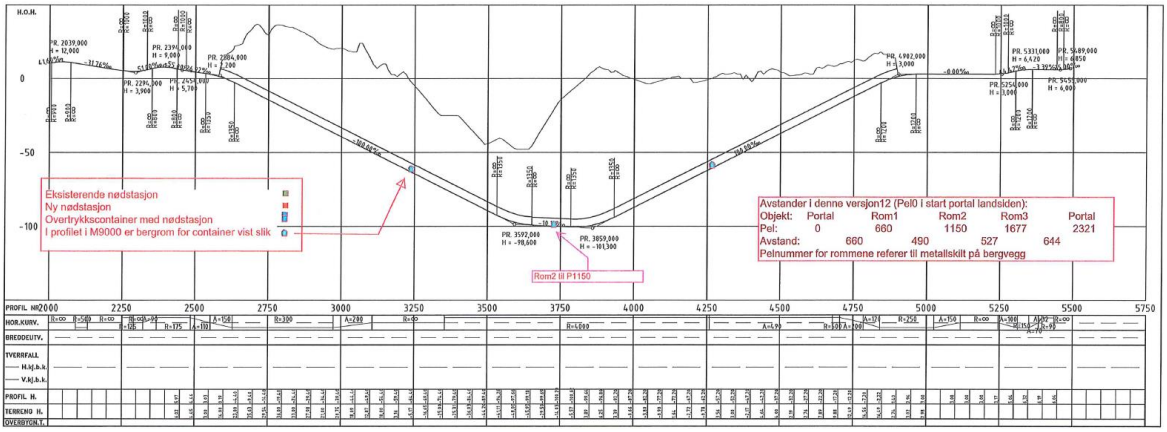
Andre moment:

- Viktige tilleggseffekter av slike tilfluktsrom er redningsmannskapenes mulighet til å kunne bruke rommene for å «ta seg inn igjen» under en aksjon, og uforstyrret kunne kommunisere med fagleder brann utenfor tunnelen gitt at det er etablert nødnett i tunnelen. Etablering av tilfluktsrom vil også være en viktig sikkerhetsfaktor for redningsetatenes innsatsplanlegging.

VR-studier av opphold i ulike tilfluktsrom med fem ulike typer utførelse (basisrom, to typer bergrom og to typer kontainerrom) [13] viser blant annet at belysning og adskillelse av aktiviteter i forskjellige areal er viktig for aksept av opphold og trygghetsfølelse, eksempelvis adskilte rom til skadde eller syke personer og rom for WC. Resultatene viser at kontainerrommene fikk mest positiv tilbakemelding, og dette var særlig knyttet til god belysning og adskilte rom for ulike aktiviteter.

9.2 Flekkerøytunnelen

Flekkerøytunnelen er en del av fv. 457. Den er en undersjøisk tunnel på 2321 m mellom Kroodden på fastlandssiden og Flekkerøy. Største dybde i tunnelen er om lag 100 meter, med et lavbrekk omtrent midt i tunnelen. Fall ned mot lavbrekket er 10 % fra begge sider. Tunnelen er åpen for gående og syklende. ÅDT er 4900 (2023). Tunnelen ble satt i drift i 1989.

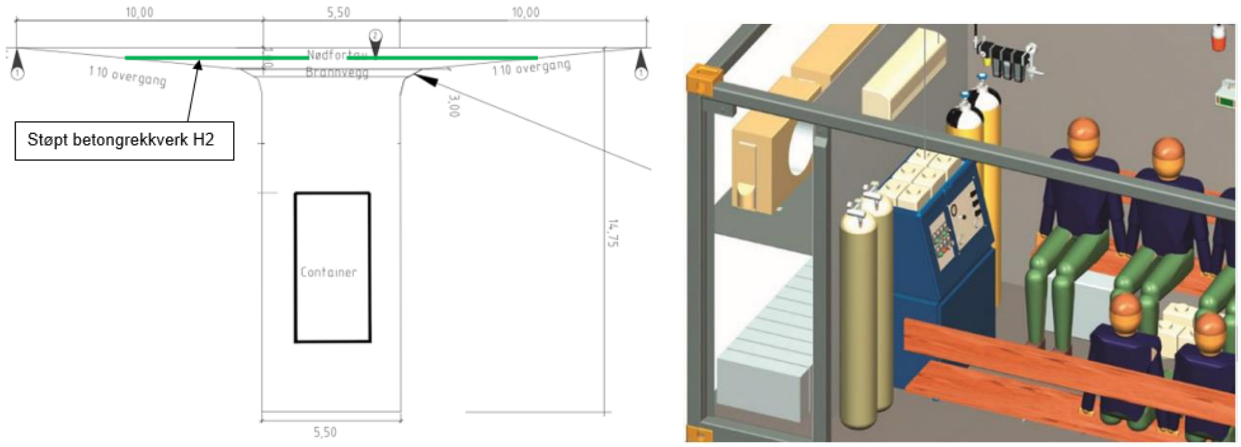


Figur 44 Lengdesnitt Flekkerøytunnelen. Blå sirkel indikerer plassering av tilfluktsrom.

Det etableres tre tilfluktsrom i Flekkerøytunnelen. Avstandene mellom tilfluktsrommene (eller mellom portal og tilfluktsrom) varierer noe; henholdsvis ca. 660 m, 490 m, 530 m og 640 m.

Det er sprengt ut bergrom for etablering av tilfluktsrom (overtrykkscontainere). Mellom bergrommet for container og tunnelrommet vil det være en brannsikker vegg.

Tilfluktsrommene skal inneholde sluse, oppholdsrom og toalett for brukerne. Rommene utstyres med sitteplass til 12 personer, og det skal være luft-/oksygentilførsel for minimum 12 personer til å oppholde seg i minimum 6 t [17].



Figur 5 Prinsippskisse for utforming av bergrom med container

9.3 Frøyatunnelen

Frøyatunnelen er en undersjøisk vegtunnel på 5305 m, som forbinder øyene Frøya og Hitra i Trøndelag, og er en del av Fastlandsforbindelsen Hitra–Frøya (fv. 714). ÅDT er 2150 (2023). Tunnelen ble åpnet i 2000. Tunnelen har høy stigningsgrad; 10 %.

I Frøyatunnelen etableres det tilfluktsrom for ca. hver 375 m.

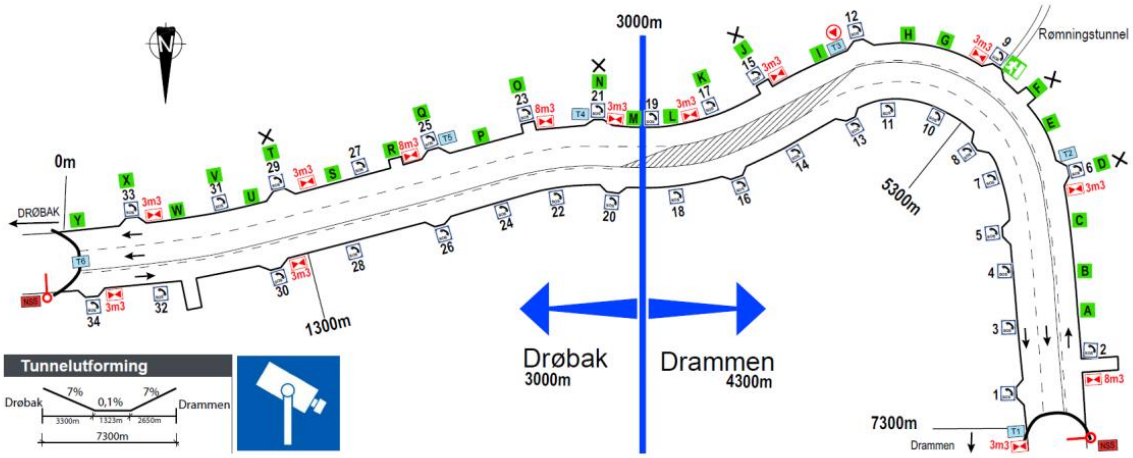
Tilfluktsrommene bygges med størrelse på rundt 40-50 m^2 (for om lag 50 personer). De bygges opp av betongvegg nederste 1 m og så resten i Siporex. Bygges med brannmostand EI240.. De bygges enten i gamle snunisjer, eller i nye sprengte nisjer/stoller. Vegglivet er helt ute i tunnelen – ca. 1,5-2 m fra hvitstripa. Tilfluktsrommene er dimensjonert for å kunne håndtere en busslast med personer.

Tilfluktsrommene bygges med sluse. Tilfluktsrommene er enkelt utstyrt med benker, tepper, vann og nødproviant, samt oksygenflasker. Det settes opp standard nødtelefon.

9.4 Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen er en undersjøisk vegtunnel på 7273 m på E134 under Oslofjorden. Tunnelen ble åpnet i 2000. ÅDT er 10 860 (2023) og tungtrafikkandelen 15 %. Tunnelen har maks stigning på ca. 7%.

Tilfluktsrom ble etablert i Oslofjordtunnelen som et konsekvensreduserende tiltak i etterkant av en brannhendelse i vogntog i 2011 [7][16]. Det er etablert rom for ca. hver 250 m med frisk luft for inntil 3t [16]. Rommene er i størrelse 3x3 m – 8x8 m, og hvert rom har plass til 30-50 personer [9].



Figur 6 Skisse over Oslofjordtunnelen markert med ventilasjonsretning, nullpunkt og lokalisering av tilfluktsrom [14]

10 Oppsummering

10.1 Anbefalt løsning

Dersom tiltaket med forsterket beredskap ikke kan gjennomføres, som er en forutsetning for en tunnelløsning uten tilfluktsrom, eller det vurderes at sikkerheten ved en slik løsning ikke er tilstrekkelig god, vurderes det å være behov for en løsning med tilfluktsrom for å ivareta muligheten for selvredning til fots.

Følgende løsning anbefales dersom det legges til grunn tilfluktsrom:

- Tilfluktsrom for hver 500 m
- En løsning med tilfluktsrom må kombineres med en form for PA-anlegg eller akustisk ledesystem for å tilrettelegge for at man går i riktig retning og ikke «gir opp» før man kommer til tilfluktsrommet.
- Tilfluktsrommene dimensjoneres for å kunne håndtere en busslast (typisk turistbuss), ca. 50 personer

Følgende momenter trekkes fram fra vurderingen:

- I Tunnelsikkerhetsforskriften er det et krav (dersom det finnes nødutganger) at avstanden mellom to nødutganger ikke skal overstige 500 m. Tunnelsikkerhetsforskriften er ikke gjeldende for dette prosjektet (ikke gjeldende på Færøyene), men den vil likevel være veiledende med hensyn til hvilke sikkerhetstiltak som bør installeres for å oppnå et akseptabelt sikkerhetsnivå.
- En løsning med tilfluktsrom for hver 500 m vil innebære at muligheten for selvredning ved evakuering til fots til tilfluktsrom eller ut portalen, vil være mulig for de aller fleste brannstørrelser og brannscenarier i tunnelen. Dette innebærer at løsningen vil være robust. I risikovurderingen [3] er et dimensjonerende scenario på 50 MW brann lagt til grunn. Brannstørrelse opptil 50 MW dekker 92 % av alle kjøretøybranner i tunge kjøretøy, gitt at det oppstår en brann.
- Det er lagt til grunn en trafikkmengde i tunnelen på 2000 kjt/døgn (framskrivning til år 2050). Det er noe usikkerhet knyttet til framskrivingen av trafikkmengde. Det vurderes at løsningen vil være robust også ved en høyere trafikkøkning enn dette.
- De teoretiske FED-beregningene (kap. 4.2) indikerer at det vil være mulig å evakuere til dels lange avstander. Dette er teoretiske beregninger som legger til grunn en «gjennomsnittsperson» med tanke på evne til å tåle toksiske røykgasser samt evne til å bevege seg fysisk i tunnelen. Studier utført av Sintef viser at dersom avstanden ved evakuering i røyk blir lang (over 250 m), kan evakuerende gi opp og snu, eller stoppe opp. Forsøk viser imidlertid også at ledelyd (akustiske ledesystemer) har god effekt med hensyn til å lede de evakuerende i ønsket retning. Informasjon om å følge lyden gjør at vesentlig flere går riktig veg og ikke gir opp og snur.
- Dersom man blir fanget i røyken vil det være vesentlig å få informasjon om på hvilken måte man skal agere, og det vil være avgjørende å redusere reaksjonstiden til både bilister og evakuerende som har forlatt bilen og befinner seg til fots i tunnelen. Akustiske ledesystemer i tunnelen kan gi mulighet for toveis kommunikasjon mellom trafikant og kontrollsentral. Ved hjelp av lydsignaler vil en lede trafikantene bort fra brannen, mot tilfluktsrom eller portal.
- Det forventes at det vil kunne være flere turistbusser i tunnelen. Tilfluktsrommene bør derfor dimensjoneres for å kunne håndtere et antall personer som typisk befinner seg på en turistbuss, dvs. om lag 50 personer.
- For de aller fleste hendelser vil det være mulig å evakuere tunnelen i eget kjøretøy. AID med rask varsling og rask stenging av tunnelen, samt at det vil være mulig å passere brannstedet de første minuttene etter brannstart, gjør at sannsynligheten for å måtte evakuere til fots er betraktelig redusert.

- Dersom det skulle oppstå en situasjon hvor man må gå ut av kjøretøyet og evakuere til fots vil evakuering være spesielt utfordrende for personer med redusert mobilitet. En avstand på 500 m mellom tilfluktsrommene gjør imidlertid selvredning vesentlig lettere enn ved lengre evakueringsavstander. Rullestolbrukere og personer med redusert mobilitet vil likevel kunne ha behov for hjelp fra andre trafikanter eller nødetater.
- Det er en forutsetning i beregningene og vurderingene at evakuerende beveger seg bort fra brannstedet, grunnet høye temperaturer og svært giftige gasser nær brannstedet utover i brannforløpet. Dersom personer sitter fast i brennende kjøretøy, eller av andre grunner ikke har mulighet til å ta seg bort fra brannstedet, er det ikke gitt at nødetatene har mulighet til å redde vedkommende ut av tunnelen.

10.2 Mulighet for større avstand mellom tilfluktsrom – gitt restriksjoner for tunge kjøretøy i tunnelen

Restriksjoner for tungtrafikken (inkludert transport av farlig gods) vil ha stor betydning for sannsynligheten for at store branner oppstår. Dimensjonerende brann, i tidsrom hvor tunge kjøretøy ikke tillates i tunnelen, vil begrenses til en brann i buss, bobil, campingvogn eller tilsvarende.

Gitt at restriksjoner for tunge kjøretøy innføres i tunnelen, vurderes det at en løsning med større avstand (750 m) mellom tilfluktsrom kan vurderes.

Det presiseres at dersom avstand mellom tilfluktsrom øker, vil det være særlig viktig å etablere tiltak som gjør at evakuerende oppfatter situasjonen raskt og iverksetter evakuering tidlig. Dette innebærer AID for rask varsling og stenging, eksplisitt varsling/skilting av brann i tunnelen, akustiske ledesystemer for å tilrettelegge for at man går i riktig retning og ikke «gir opp», samt kontinuerlig evakueringsbelysning.

Det presiseres at denne løsningen vil være mer sårbar enn en løsning med tilfluktsrom hver 500 m. I dette ligger det at restriksjoner for tungtrafikken er et tiltak som over tid vil kunne reverseres om ikke riktige vurderinger gjøres, og at risikobildet i tunnelen også vil kunne påvirkes av fremtidige endringer i trafikksammensetning og trafikkmengde. I tillegg vil løsningen være mer sårbar med hensyn til personer med redusert mobilitet.

Norconsult anbefaler derfor at dersom det legges til grunn en løsning med økt avstand mellom tilfluktsrom bør det vurderes (i tillegg til restriksjoner for tungtrafikken) tiltak som begrenser en eventuell bussbrann, slik som slokkeanlegg i motorrom på busser. Dette er et relativt enkelt tiltak for å slokke eller forsinke brannutviklingen ved brann i motorrom.

11 Referanser

[1] Vurdering af trafikmodel og mulig trafik i Suðuroyartunnilin, datert september 2023
[2] Risiko knyttet til brann ved ulike konsepter for Sudurøytunnelen, rapport, datert april 2022, Sweco
[3] Risikovurdering forprosjekt Suðuroyartunnilin, Felles-040 rev. A, Norconsult
[4] Experience with significant incidents in road tunnels: Appendix, rapport 2016A35EN, ISBN 978-2-84060-447-1, Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation: World Road Association (PIARC)
[5] Experience with significant incidents in road tunnels, rapport 2016R35EN, ISBN 978-2-84060- 444-0, Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation: World Road Association (PIARC)
[6] Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008-2021, februar 2023, Transport økonomisk institutt (TØI)
[7] Litteraturundersøkelse – selvredning i vegtunneler: erfaring med bruk av redningsrom, rapport 2017:00523, SINTEF
[8] Rapport om bussbrann i Gudvangatunnelen på E16 i Aurland 11. august 2015, rapport Vei 2016/03, Statens Havarikommisjon for Transport (SHT)
[9] Rapport om brann i vogntog på rv.23, Oslofjordtunnelen 5.mai 2017, rapport Vei2018/04, Statens Havarikommisjon for Transport (SHT)
[10] Evacsound – Forsøk i Runehamar testtunnel, rapportnr.2020:00865, datert 2020-09-15, Sintef
[11] Simulering av evakuering i tunnel, rapport ISBN 978-82-14-06915-0, datert 2018-10-24, Sintef
[12] Sluttrapport Fou: Bruk av evakueringsrom, FoU prosjektet «Sikkerhetsstyring i vegtunneler» 2017-2019, datert mai 2020, Vegdirektoratet
[13] Simulering av opphold i redningsrom, rapport ISBN 978-82-14-06296-0, datert 2020-01-10, Sintef
[14] Rapport om brann i vogntog på E134 i Oslofjordtunnelen 2.august 2021, rapport Vei2022/05, Statens Havarikommisjon for Transport (SHT)
[15] Trafikksikkerhetshåndboken, Utforming av tunneler, datert 2023, Transport økonomisk institutt (TØI)
[16] Rapport om brann i vogntog på rv. 23 Oslofjordtunnelen 23.juni 2011, rapport Vei2013/05, Statens Havarikommisjon for Transport (SHT)
[17] Risikovurdering Flekkerøytunnelen: Rom for assistert redning, RIS-01 rev. J02, Norconsult
[18] NordFoU “Evakuering i vegtunneler” Forskningsrapport DP2, 2014-05-02, HOJ Consulting, HBI Haerter, Traficon, TNO.
[19] Utredning om bruk av tilfluktsrom uten utgang til det fri i lange ettløps vegtunneler for midlertidig opphold som del av assistert redning, Statens vegvesen, 20/204342-1, 30.10.2020