

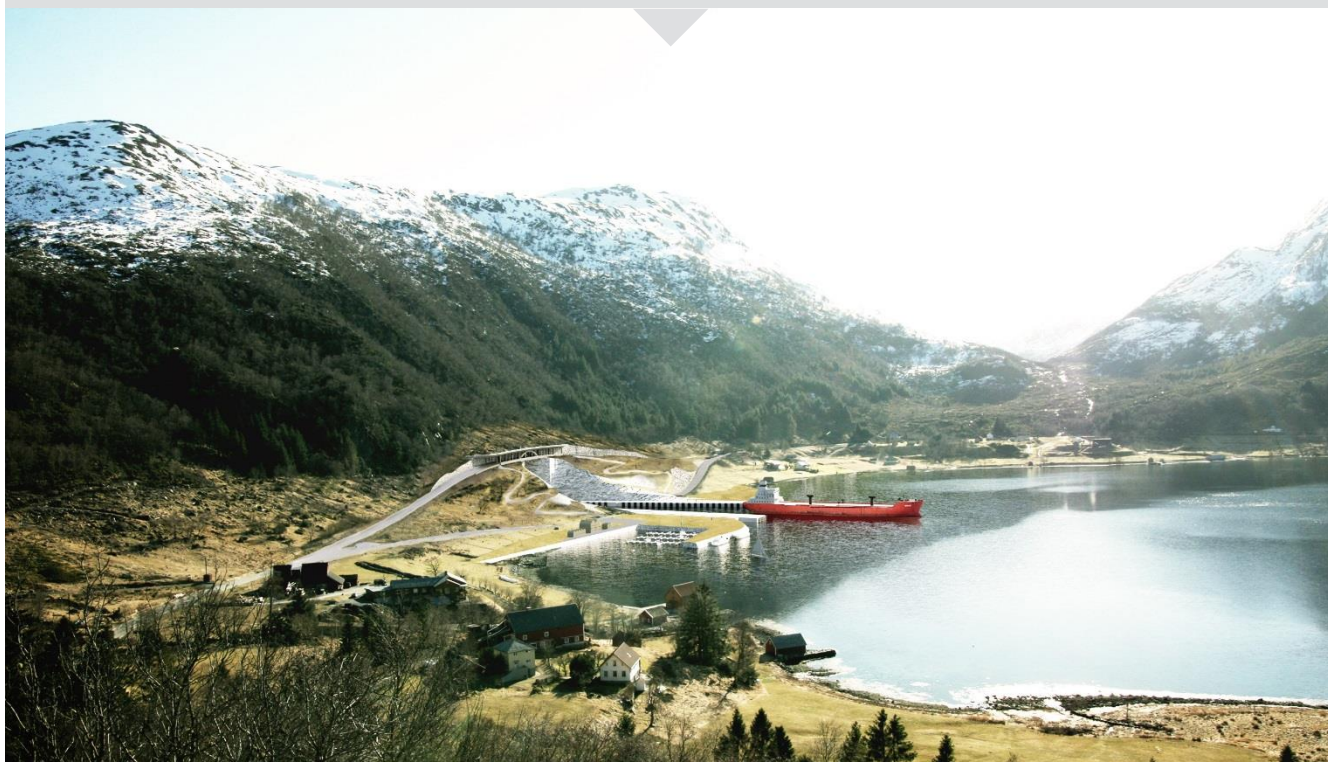


KYSTVERKET

# Stad Skipstunnel

## Teknisk forprosjekt

### VEDLEGG E - BRANNKONSEPT



Oppdragsnr.: 5161743 Dokumentnr.: 001-E Versjon: J01  
2016-12-02

J01	2016-12-02	Forprosjekt	HEL/BEAER	JWB	SA
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS 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 og konklusjon

Brannkonseptet er grunnlag for detaljprosjekterende om hvilke føringer og tiltak som må implementeres i prosjektet for at tunnelen skal anses ha tilfredsstillende brannsikkerhet. Nødvendige branntekniske krav til tunnelen og tiltak for å ivareta evakueringsmuligheter i tunnelen ved evt. evakuering av skip i tunnelen (minimumstiltak) er angitt under kap. 3 Sikringstiltak. Disse må implementeres i tunnelen.

Basert på risikoanalysen (vedlegg F) konkluderes det med at listede minimumstiltak (kap. 3) er tilstrekkelig for denne tunnelen.

Rapporten skal også fungere som dokumentasjon til bruksfasen og inneholder forutsetninger som må overholdes.

Som underlag til risikoanalysen (vedlegg F), er det i vedlegg 1 i denne rapporten gjort en vurdering av brannhendelse i tunnelen (konsekvensdelen i en risikoanalyse). Denne vurderingen gir ingen direkte branntekniske tiltak i tunnelen, og det vises til konklusjonen i vedlegg F Risikoanalysen for vurdering av behovet for tiltak.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>5</b>
1.1	Regelverk	5
1.2	Grunnlagsdokumenter	6
<b>2</b>	<b>Forutsetninger og avgrensninger</b>	<b>7</b>
2.1	Avgrensning	7
2.2	Dimensjonerende brannscenario	7
2.3	Dimensjonerende persontall	7
2.4	Krav til skip og sikkerhetsorganisasjon om bord på skip	7
2.5	Innsatsmulighet for nødetater	8
2.6	Styring av båttrafikk og sikkerhetstiltak i tunnelen	8
2.7	Tunnelkonstruksjon- og profil	8
<b>3</b>	<b>Branntekniske sikringstiltak</b>	<b>10</b>
3.1	Særtrekk med tunnelen	13
3.2	Rømningsstrategi	14
3.3	Innsatsstrategi	14
<b>4</b>	<b>Referanser</b>	<b>15</b>
	<b>Vedlegg 1: Vurdering av sikkerhet knyttet til evakuering i tunnel</b>	<b>16</b>
	Om vurderingen	16
	Innledning	16
	Røykspredning i tunnel	16
	Evakueringstid	17
	Overlevelsesmuligheter i tunnel	19
	Oppsummering	22

# 1 Innledning

Norconsult AS er engasjert av Kystverket for å utarbeide et brannkonsept til Stad skipstunnel.

Stad skipstunnel vil ha en lengde på 1,7 km. Tunnelen skal være tilpasset båttrafikk opp til skip på størrelse med Hurtigruten, Midnatsol.

Rapporten skal være grunnlag for detaljprosjekterende, og sikre at branntekniske forutsetninger blir ivarettatt.

Det er utført en konsekvensvurdering av brann i, og evakuering fra, skip av størrelse som hurtigruten. Det er Hurtigruten Midnatsol som legges til grunn istedenfor hurtigbåt, slik som var forslaget fra tidligere risikoanalyser. Dette medfører også et større tunnelvernsnitt enn i tidligere brannsimuleringer, samt ett større persontall i rømnings simuleringene.

Resultatene som fremkommer fra konsekvensvurderingene benyttes videre i Risikoanalysen (vedlegg F), som grunnlag for vurdering av tiltak dersom analysen skulle konkludere med at tiltak utover det som regnes som minimumstiltak skulle bli nødvendig. Dokumentasjon av analytiske vurderinger er lagt som vedlegg i denne rapporten.

Løsningene som angis i dette brannkonseptet er å anse som minimumsløsninger.

## 1.1 Regelverk

Det finnes ikke relevant regelverk som spesifikt behandler brannsikkerhet i skipstunneler, derimot finnes flere regelverk om sikringstiltak som er nødvendige om bord på skip, utvalgte eksempler:

- Forskrift om brannsikring på skip
- Forskrift om redningsredskaper på skip
- Forskrift om sikkerhetstiltak m.m. på passasjer-, lasteskip og lektere

Regelverket er i stor grad basert på at skip skal ha en tilstrekkelig egenberedskap for å kunne utføre selvevakuering og at personalet skal kunne slokke mindre branner. Sikkerheten skal derfor ikke være avhengig av eksterne ressurser. Det er derfor vanlig at skip har flere sikringstiltak som for eksempel brannhydranter/brannslanger og automatisk slokkeanlegg (særlig i høyrisiko områder).

Det finnes derimot regelverk som for enkelte tiltak anses fungere som et referanseregelverk, med hensyn til at det er tilsvarende forutsetninger. Eksempel på slike referanser er regelverk som styrer brannsikkerheten i andre infrastruktur tunneler, for eksempel jernbanetunneler og veitunneler. Følgende regelverk er styrende for jernbanetunneler og veitunneler:

- Håndbok N500 (Vegtunneler)
- Jernbaneverkets tekniske regelverk (Jernbanetunneler)
- Sporveiens tekniske regelverk (T-banetunneler i Osloregionen).

Funksjonskrav i Byggeteknisk forskrift for brannsikring av byggverk kan også være veiledende i hvilke aspekter som er viktige å evaluere for å oppnå et tilstrekkelig sikkerhetsnivå i tunnelen. Preaksepterte ytelser anses derimot lite representativt for den aktuelle tunnelen.

Krav til kaianlegg, og andre tilsvarende anlegg der båter/skip legger til land, kan være en god referanse, særlig med hensyn til evakuering av skip og utforming av ilandstigningsmuligheter.

- Arbeidsplassforskriften
- Forskrift om bygging av flyttbare innretninger

Det antas at tunnelen vil bli definert som et særskilt brannobjekt iht. Brann- og eksplosjonsvernloven. Dette medfører særskilte krav til dokumentasjon av tekniske og organisatoriske brannsikringstiltak.

## 1.2 Grunnlagsdokumenter

Dokument:	Datert:	Revisjon:	Utarbeidet av:
73-100-05948 Hurtigruten Passenger Ferry General Arrangement	2004-03-22	C	Delta Marin
73-100-05949 Hurtigruten Passenger Ferry General Arrangement	2004-03-22	C	Delta Marin
Risikoanalyse av Stad skipstunnel for to tunnelalternativer	2010-12-20	1.0	Det Norske Veritas (DNV)
CFD-beregning av røykspredning (Vedlegg G)	2016-11-08	J01	Norconsult AS
Risikoanalyse (Vedlegg F)	2016-11-08	J01	Norconsult AS
Ventilasjon ved naturlige drivkrefter (Vedlegg H)	2016-11-08	J01	Norconsult AS

## 2 Forutsetninger og avgrensninger

Følgende avsnitt beskriver de forutsetningene som ligger til grunn for den branntekniske prosjekteringen. Dersom forutsetningene endres må det også utføres en vurdering av om det er nødvendig å revidere de tiltak som er valgt i den branntekniske prosjekteringen.

### 2.1 Avgrensning

Rapporten vurderer og angir minimumstiltak for tunnelen mht. brannsikkerhet. Det gjøres ikke direkte vurderinger av hvilke krav som må stilles til skip, og det vises her også til risikoanalysen (vedlegg F) for risikovurderingen av seilas gjennom tunnelen basert på dimensjonerende skip, og forutsetninger tilknyttet dette. Kritiske forhold om bord på skip, inntil alle er evakuert, er ikke vurdert

### 2.2 Dimensjonerende brannscenario

Dimensjonerende scenario er basert på tidligere analyser utført av Det Norske Veritas der det er simulert branner med en maksimal effekt på 100 MW. Det er angitt fra departementet at det er en hendelse med Hurtigruten som skal vurderes. Skipet Midnatsol er angitt som dimensjonerende skip for prosjektet.

### 2.3 Dimensjonerende persontall

Dimensjonerende persontall er et fullastet Hurtigrutens skip Midnatsol, med 970 passasjerer og 85 mannskaper (totalt 1055 personer).

### 2.4 Krav til skip og sikkerhetsorganisasjon om bord på skip

Båter og skip for passasjerer og godstrafikk skal tilfredsstille de krav som gjelder til sikkerhetsutstyr om bord for å kunne trafikkere norske farvann. Personell må være kjent med sikkerhetskonseptet vedrørende evakuering som gjelder for tunnelen. Det er forutsatt at båter/skip kjører ut av tunnelen, om mulig, i en brannhendelse. Evakuering fra skip forutsetter bruk av landgang eller lignende. Det må verifiseres at betjening av landgang fra skip som skal trafikkere tunnelen er mulig i en nødsituasjon.

I det videre arbeidet i prosjektet skal det både utvikles en tunnelforskrift og det skal gjennomføres en beredskapsanalyse. Begge disse arbeidene vil bli viktige for å fastsette endelig krav til skip som skal kunne trafikkere tunnelen (se også neste kapittel).

Det forutsettes at beredskapsplan etableres for tunnelen. Behov for særskilte beredskapstiltak/-planer og øvelser for skip som benytter tunnelen må vurderes.

Se også Risikoanalyse (Vedlegg F).

## 2.5 Innsatsmulighet for nødetater

Nødetater må involveres i arbeidet med beredskapsanalyse, og utvikling av beredskapsplan for tunnelen.

Det vil være kjørbar atkomst frem til begge sider av begge portalene.

## 2.6 Styring av båttrafikk og sikkerhetstiltak i tunnelen

Det er forutsatt at det etableres et signalsystem/trafikkstyringssystem som sørger for at skipstrafikk gjennom tunnelen kun går i én retning av gangen. Privat båttrafikk kjører på separate tidspunkter adskilt fra næringstrafikk.

## 2.7 Tunnelkonstruksjon- og profil

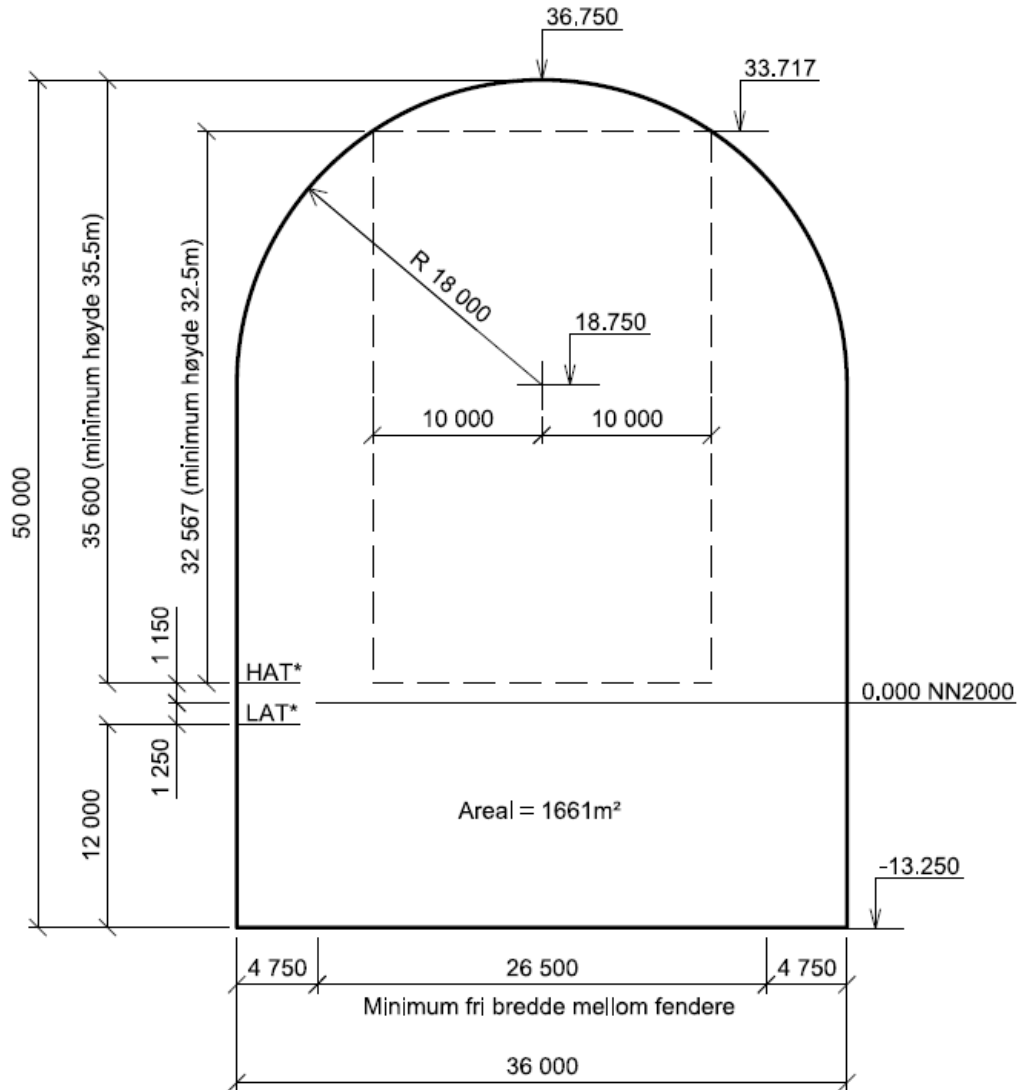
Tunnelen utføres som en råsprengt tunnel med bergsikring og vann- og frostsikring i enkelte partier ved behov.

På hver side i tunnelen etableres det ledekonstruksjoner for skipene. Disse utgjør også gangbane. Utgang fra tunnelen er ut i hver ende.

Prosjektet har som utgangspunkt ikke tenkt at det skal være fortøyningsmuligheter inne i tunnelen, men det etableres fortøyningsmuligheter ved entringskonstruksjoner utenfor hver portal.



Tunnelprofilen som ligger til grunn for vurderingene er presentert i figur 1.



Figur 1. Tunnelprofil for Stad skipstunnel

### 3 Branntekniske sikringstiltak

Branntekniske tiltak er valgt på bakgrunn av tidligere utførte analyser, og reviderte analyser der dette har vært behov. Tiltak kan også være valgt på bakgrunn av krav i regelverk for sammenlignbare objekter, for eksempel krav til kaianlegg eller andre infrastruktur tunneler, der dette er vurdert som representativt. Grunnlag for analyser og resultater er presentert i vedlegg 1.

I Tabell 1 er det presentert hvilke krav som er nødvendige for tunnelen, med referanse til det relevant grunnlag og regelverk. Enkelte krav er angitt basert på en overordnet risikovurdering av nødvendige tiltak. Slike krav er angitt med «Risikobasert vurdering» som referanse.

Rapporten inneholder ikke tiltak som skal redusere risikoen for kollisjon. Det vises til forprosjektrapporten for beskrivelse av slike tiltak (trafikkstyringssystem m.fl.).

Tabell 1. Tekniske brannsikringstiltak i tunnelen

Brannsikringstiltak	Analytisk grunnlag/regelverk	Krav
Generelle krav	Risikobasert vurdering (1) Byggteknisk forskrift (2)	Sikkerhetsutstyr som monteres i tunnelen må være tilpasset klimaet, blant annet med hensyn til fuktighet og frostproblematikk. (1) Utstyr må vedlikeholdes i samsvar med leverandørens anbefalinger. (2) Utstyr må plasseres slik at det er mulig å utføre nødvendig vedlikeholdsarbeid. (1)
Sikkert sted (Rømningsveier)	Analytisk dimensjonering, vedlegg A (3) Veiledning Tilrettelegging for rednings og slokkemannskap (9)	Det er ikke tilrettelagt med noen rømningsveier inne i tunnelen utover gangbanen på hver side som leder ut via portalene. Lengste avstand i tunnelen til fri luft blir 850 meter. (3) Sikkert sted etableres i hver ende av tunnelen (ute i fri luft). Sikkert sted må kunne håndtere minst 1000 personer (et areal på minimum 1000 m <sup>2</sup> ) (3) og være tilgjengelig med kjørbare vei (minimum 3,5 meter bredde). (9) Dersom kjørbare vei er blindvei må det tilrettelegges med snuplass med en svingradius på minimum 14 meter. (9) Sikkert sted bør være plassert slik at det er best mulig beskyttet fra vind. Ettersom det etableres gjerde med låst port mot tunnelen så må det etableres en enkel måte å få åpnet port på fra innsiden uten at det må benyttes nøkkel. Skiltning for dette må være tydelig. I Kystverkets beredskapsplan må det utføres en vurdering om hvordan evakuerte personer kan beskyttes mot værforhold. Krav vil være avhengig av innsatstiden til det aktuelle området. Beredskapsanalyse må gjennomføres.

<p>Gangbaner</p>	<p>Arbeidsplassforskriften § 2-22 (4)</p> <p>Forskrift om bygging av flyttbare innretninger § 14 (5)</p> <p>Analytisk dimensjonering, vedlegg A (3)</p> <p>Risikobasert vurdering (1)</p> <p>Jernbaneverkets tekniske regelverk (6)</p> <p>Sporveiens tekniske regelverk (7)</p>	<p>Gangbanen plasseres ca. 3 meter over normalvannstand på begge sider av tunnelen.</p> <p>Gangbaner skal være minimum 3,5 meter i bredde (3), og ha en fri høyde på 2,25 meter (6). Gangbanen skal være utført i sklisikkert materiale (2). Eventuell isdannelse/frost må ikke vanskeliggjøre en evakuering. Det må utføres en vurdering av frostoproblematikken. Driftsmessige løsninger kan da være en løsning i slike perioder. Dersom det vurderes å bli et stort problem bør det ses nærmere på materialvalg/utforming (varmekilder vurderes som lite aktuelt). (4) Det må være mulig å logge temperaturen i tunnelen.</p> <p>Gangbaner skal være utstyrt med rekkverk mot vannkant på 1,0 meter høyde (2). Rekkverk bør utformes slik at dette kan slås innover mot gangbanen slik at utlegging av landgang fra skip ikke hindres. Endelig utforming og krav til rekkverk må vurderes i forbindelse med videre arbeider.</p> <p>Gangbaner skal ha håndløper mot tunnelvegg. Håndløpene skal være plassert 0,8-1,1 meter over gangbanen og utføres uten avbrudd til sikkert sted (ut til det fri). (6) Håndløperen kan stikke ut 10 cm i gangbanen (7).</p> <p>Gangbaner skal gå helt ut til friluft og videre til sikkert sted/rømningsplass. Kjørbarvei må være tilknyttet en slik plass. Det er fordelaktig å kombinere et slik sted med beredskapsplass. (1, 6)</p>
<p>Leider</p>	<p>Arbeidsplassforskriften § 2-23 (4)</p> <p>Forskrift om bygging av flyttbare innretninger § 14 (5)</p>	<p>Det er angitt i prosjektet at vertikale ledere skal være utplassert til gangbane hver 54. meter.</p> <p>Trinnene skal være sklisiske. (4)</p> <p>Leidere skal ha sidevange eller håndlist som avsluttes i rekkverkshøyde over øvre plan (4).</p> <p>Leidere skal ha en bredde mellom vangene på minst 350 mm, men ikke over 500 mm. Bak trinnene skal det være minst 150 mm fri åpning. Vertikal avstand mellom trinnene skal være minst 250 mm, men ikke over 350 mm. (5)</p> <p>Leidertrinn skal være av minimum 22 mm firkantstål (enkle stegpinner) montert slik at en av firkantstålets kanter peker oppover. (5)</p>
<p>Røykventilasjon</p>		<p>Røykventilasjon ivaretas med naturlig trekk i tunnelen. (3)</p> <p>I vedlegg 1 til denne rapporten er rømning i røyk vurdert.</p> <p>Ventilasjonsløsninger for å kontrollere røykspredning i en brannsituasjon er drøftet i Vedlegg H.</p>

		Vurdering av behovet for tiltak evalueres i dette prosjektet gjennom risikoanalysen (vedlegg F), og det er kun potensiell konsekvens som er vist her.
Deteksjon	Risikobasert vurdering (1)	Radaranlegg skal installeres i tunnelen og være tilkoblet Kystverkets trafikkstyringssentral (1).
Varsling		Varsling av passasjerer (følger krav til skip).  Varsling av trafikkstyringssentral.  Varsling ved brann må belyses i beredskapsanalyse og beredskapsplan for tunnelen.
Ledesystem		Belysning i håndløper, markeringslys, belysning av livbøyer og leidere.
Signalanlegg		Det må etableres et signalsystem på utsiden av tunnelen som regulerer trafikken gjennom tunnelen. Stans inne i tunnelen ved normal drift bør unngås. Signalanlegget må kunne styres fra Kystverkets trafikkentral.
Tekniske rom	TSI-SRT (6)  Byggeteknisk forskrift (2)	Tekniske rom skal utføres som egen branncelle EI 60 A2-s1,d0. (6) Tekniske rom skal plasseres slik at de har tilkomst direkte ut til det fri (lengste fluktvei er 50 meter), eller til to uavhengige rømningsveier.(2) Tekniske rom kan legges i tunnel med tilgang til gangbanen.
Sikker strømforsyning		Det må tilrettelegges med sikker strømforsyning i minst 90 minutter til brannsikkerhetstekniske anlegg (ledelys, radar, mm.).
Konstruksjon	Byggeteknisk forskrift (2)  Håndbok N500 (8)	Det stilles ingen krav til brannsikring av tunnelkonstruksjonene, der det ikke er brennbar vann- og frostsikring.  Det vises til risikoanalysen mht. sannsynlighet for brann. I tillegg til at sannsynligheten for brann er liten, vil sannsynligheten for direkte brannpåvirkning på tunnelkonstruksjonen ved en brann være svært liten.  Brannbar vann- og frostsikring skal utføres iht. godkjente løsninger i Statens Vegvesens Håndbok N500 for 100 MW brann (8).  Gangbane langs tak må forankres til fjell, slik at det ikke er fare for nedfall ved brannpåvirkning.  Tekniske bygg o.l. skal brannsikres iht. byggeteknisk forskrift (2). Det vil her si R60 bæring (A2-s1,d0).
Materialvalg		Materialer på konstruksjoner og overflater i tunnelen og i tekniske arealer skal være ubrennbare (A2-s1,d0).

Tunnelprofil		Tunnelprofil som vist i avsnitt 2.7 er lagt til grunn i vurderingene. Dersom det blir utført større endringer i tunnelprofilen kan det være behov å revidere brannkonseptet
Angrepsveier		Det må være kjørbare tilkomstveier til hver side av hver portal frem til gangbane. Kjøre vei må være minst 3,5 m bred.  Må belyses i beredskapsanalyse og beredskapsplan for tunnelen.
Beredskapsplasser		Beredskapsplasser skal etableres i hver ende av tunnelen på hver side av portal, forslagsvis i samband med sikkert sted (rømningsvei).  Må belyses i beredskapsanalyse og beredskapsplan for tunnelen.
Nødkommunikasjon		Tunnelen må ha maritim VHF-dekning.  Tunnelen må være utstyrt med strålekabel for nødkommunikasjonssystemet TETRA.  Må belyses i beredskapsanalyse og beredskapsplan for tunnelen.
Slokkevann		Slokkevann tas fra sjøen. Beredskapsplanen må inneholde beskrivelse av utstyr som kan benyttes til slokking.  Må belyses i beredskapsanalyse og beredskapsplan for tunnelen.
Organisatoriske rutiner	Brann- og eksplosjonsvernloven (1)	Kystverket må opprette nødvendige organisatoriske sikkerhetsrutiner og beredskapsplan før tunnelen blir tatt i bruk. Disse må formidles til bruker av tunnelen. Det må vurderes om det er behov for særskilte beredskapsplaner og øvelser for skip som skal trafikkere tunnelen.

### 3.1 Særtrekk med tunnelen

Tunnelen vil bli verdens første skipstunnel. Det er derfor ikke utarbeidet noen standarder eller retningslinjer på hvilke sikringstiltak som er nødvendige i slike tunneler. Nødvendige sikringstiltak er derfor basert på resultater i risikovurderinger, der blant annet nødvendig rømningstid (tid det tar å evakuere samtlige passasjerer) sammenlignes opp mot tilgjengelig rømningstid (tid det tar innen det oppstår kritiske forhold i tunnelen), se vedlegg 1. Representativt referanseregulverk for kaianlegg, og andre tunneltyper er vurdert ved fastsettelse av enkelte tiltak/krav.

Tunneltverrsnittet vil være svært stort sammenlignet med vei- og jernbanetunneler, over 10 ganger større ovenfor vannoverflaten. Et stort tunneltverrsnitt er positivt med hensyn til røykfylling, ettersom det kan ta lengre tid før det oppstår kritiske forhold. Samtidig kan det store tunneltverrsnittet medføre at konvensjonelle løsninger vedrørende røykventilasjon (langsgående, mekanisk ventilasjon) kan være utfordrende å få til, men ikke umulig og er et reelt alternativ hvis behov (se vurdering i vedlegg

H). Det nevnes at Kystverket har forkastet denne løsningen, dvs. mekanisk ventilasjon, i forrige planfase, og basert løsningen på naturlig ventilasjon. Dersom mekanisk ventilasjon senere blir vurdert som aktuelt, så må løsning vurderes særskilt for å oppnå ønsket effekt.

Det store tverrsnittet medfører også at konvensjonelle systemer for deteksjon av brann ikke er aktuelt, men at det må benyttes radarbaserte deteksjonsmetoder for hendelser i tunnelen som gir varsel til Kystverkets trafikksentral. Brann i skip skal detekteres av skipets egne deteksjonssystemer.

En stor del av tunnelen vil bestå av vann. Gangbanene (rømningsveiene) må derfor sikres slik at personer ikke faller ut i vannet under evakuering. Størrelsen på gangbanene må ha en bredde som gjør plass for landganger, og en tilstrekkelig bredde slik at personer kan evakuere effektivt på gangbanen. Båttrafikken gjennom tunnelen vil variere fra passasjerskip til småbåter og mindre godsfartøy.

Tunnelen er plassert i et område som er vanskelig tilgjengelig, og med små kommunale og statlige redningsressurser. Sikkerhetskonseptet må derfor i størst mulig grad baseres på selvevakuering. Tunnelkonstruksjoner må også utføres slik at de i størst mulig grad ikke bidrar i brannforløpet og utgjør en risiko ved en slokkeinnsats. Dette betyr bruk av ubrennbare konstruksjoner.

Ettersom tunnelen er den første i sitt slag, vil det være nødvendig å opprette en rekke organisatoriske sikkerhetsrutiner, både vedrørende trafikkstyring og beredskap ved en eventuell hendelse. Denne rapporten omhandler tekniske tiltak, og organisatoriske tiltak/beredskapsplaner må vurderes nærmere i senere faser. Egen tunnelforskrift planlegges også, og vurderes som nødvendig for å få lovfestet krav til både skip og beredskap, mm.

### 3.2 Rømningsstrategi

Beredskapskonseptet for tunnelen blir i utgangspunktet tilsvarende som for andre typer tunneler, der det primære tiltaket er å prøve og kjøre ut av tunnelen i hendelse av brann dersom det er mulig. Evakuering inne i selve tunnelen vil derfor kun foregå om fartøyet ikke klarer å kjøre ut av tunnelen. Ved en eventuell hendelse inne i tunnelen er konseptet at evakuering ikke skal være avhengig av eksterne ressurser (selvevakuering).

Rømning skjer via landganger/leidere o.l. til gangbaner som er plassert på begge sider av tunnelen. Det skal være mulig å evakuere i begge retningene langs gangbanen ut til det fri til et sikkert sted. Med sikkert sted menes et område der samtlige personer som har evakuert ut av tunnelen kan oppholde seg til videre assistanse. Sikkert sted skal også være på en slik avstand fra tunnelmunningen at ikke røyk eller brannen spres vesentlig til området og utgjør en fare for de som har evakuert. Ettersom det er veiforbindelse til portalene vil det være enkelt å forflytte seg vekk fra tunnelen.

Landgangene vil kunne ligge over en del av gangbanen, og det er en risiko for at det oppstår mer kø langs med gangbanen enn ved evakuering til en kai. Dette er vurdert nærmere (se vedlegg 1).

### 3.3 Innsatsstrategi

Selje Brann og redning har to deltidstasjoner, en i Selje (10 mannskaper, 2 biler), og en i Stadlandet (8 mannskap med to biler). Forventet utrykningstid er cirka 15 minutter for respektive brannvesen til henholdsvis vestre og østre tunnelmunning.

Bergen og Ålesund brannvesen har RITS (redningsinnsats til sjøs). Behovet for opplæring og tilføring av ressurser til de lokale brannvesen må drøftes i videre beredskapsanalyser i videre prosjektfaser. Video- og radarovervåkning og gode kommunikasjonssystemer vil være en forutsetning for en vellykket innsats.

## 4 Referanser

1. **beredskapsdepartementet, Justis - og.** *Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver.* s.l. : Justis - og beredskapsdepartementet, 2002 sist revidert 2015. LOV-2002-06-14-20.
2. **Byggdetaljer 520.385 Nødvendig rømningstid ved brann. s.l. : Byggforsk kunnskapssystemer, Mai 2016.**
3. **Norsk standard. NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk. juni 2012.**
4. **Statens bygningstekniske etat. H0-3/2007 Temarettledning Prosjektering brannsikkerhetsstrategi.** Oslo : Norsk Byggtjenestes forlag, 2007.
5. **Veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK10).** s.l. : Direktoratet for byggkvalitet, dynamisk utgave, juni 2014.
6. **Lunds tekniske högskola. Brandskyddshandboken.** Lund, Sverige : Wallin & Dalholm, 2002. ISSN 1402-3504.

# Vedlegg 1: Vurdering av sikkerhet knyttet til evakuering i tunnel

## Om vurderingen

I dette vedlegget gjennomgås den konsekvensvurderingen som er gjort tilknyttet stor brann i stort passasjerskip. Som utgangspunkt og modell for vurderingen er dimensjonerende skip for prosjektet benyttet, dvs. Hurtigruten Midnatsol. Som tidligere nevnt er konsekvensvurderingen ment som underlag for risikoanalysen (vedlegg F) dersom scenariet med stor brann med tilhørende stans i fremdriften skal være dimensjonerende hendelse.

Som følge av dette vil ikke denne konsekvensvurderingen medføre direkte krav til tiltak om ikke risikoanalysen angir det som nødvendig, dvs. at det er risikoen tilknyttet ferdsel med dimensjonerende fartøy som avgjør hvilke tiltak som blir nødvendig (utover minimumskravene).

## Innledning

Ved brann i skip vil det kunne bli nødvendig å iverksette evakuering inne i tunnelen. Evakuering av skip i tunnel er planlagt gjennomført til gangbaner i tunnel. For større skip, bl.a. hurtigruten, vil det ikke være mulig å evakuere via livbåter.

Ved evakuering til tunnel vil personer måtte forflytte seg langs gangbane til sikkert sted som er utenfor tunnelen.

Ved brann i skip vil evakuering langs gangbane kunne bli påvirket av røyk fra brann i skip og/eller varmestråling fra brannen. Rømningsforholdene i tunnelen vil bl.a. være avhengige av trekk og trekktretning i tunnelen, samt brannstørrelse og røykproduksjon fra brannen på skip.

Forflytningstid, sikt og røykkonsentrasjon er faktorer som har stor betydning for overlevelsesmulighetene ved en brann og evakuering i tunnel. Røykspredning i tunnel, forflytningstider/rømningstider og overlevelsesmuligheter er vurdert nedenfor.

## Røykspredning i tunnel

Røykspredning i tunnel ved brann i skip er avhengig av den naturlige trekken i tunnelen, samt størrelsen til brannen om bord på skip (her er Hurtigruten utgangspunktet for vurderingene).

Det er gjennomført en CFD-analyse (vedlegg G) av 4 ulike brannscenarier på skip. CFD-analysene omfatter to ulike brannstørrelser (25MW og 100MW), samt 3 ulike trekkforhold i tunnelen.

Branneeffekten i CFD-analysene er konstant og brannutviklingen frem til 25MW og 100MW er ikke hensyntatt. I simuleringene er det antatt at brannen er lokalisert på dekk 5 i fremre del av skipet. Brannen vil påvirke tunnelen ved at flammer og røyk slår ut av skipets vinduer og åpninger i dette området.

Simuleringene viser følgende:

- En brann på dekk 5 vil kunne medføre varmestråling ned til gangbanen, som vil kunne hindre evakuering forbi brannstedet. Varmestrålingen 2m over gangbanen vil være 5-15 kW/m<sup>2</sup> i de vurderte scenariene. En varmestråling på 5 kW/m<sup>2</sup> mot eksponert hud vil kunne medføre 2.grads forbrenning ved eksponering på rundt 30 sekunder (2).



- Røykspredningen er svært avhengig av trekkforholdene i tunnelen. En trekk på 4,3 m/s (dvs. trykkforskjell mellom portalene på 30 Pa) vil fortrenge røyken en vei og sikre at tunnelen er røykfri oppstrøms trekkretningen.
- En brann vil medføre røyk langs gangbanene. Sikt og spredning av røyk langs gangbanene er avhengig av brannutvikling, brannstørrelse og trekkforhold. Røykfrie rømningsforhold langs gangbanene er opprettholdt i 10-12 minutter for scenarioene som er vurdert i CFD-analysene.
- Ved 3,5 m/strekk i tunnelen (20-30 Pa trykkforskjell mellom portalene) vil røykkonsentrasjonen langs gangbanene stabilisere seg og sikten vil etter hvert være rundt 10m.
- Uten trekk eller med liten trekk i tunnelen er det rimelig å anta at røykkonsentrasjonen vil øke over lang tid, slik at sikten i deler av tunnel etter hvert blir svært dårlig. Tid til dette skjer er bl.a. avhengig av brannutvikling og brannstørrelse.

Vindforholdene og trykkdifferansen mellom portalene vil påvirke trekken og røykspredningen i tunnelen. Målinger av trykkdifferanse mellom portalene viser stor variasjon og hyppige trykkendringer. Trykkforskjellen mellom portalene vil være mindre enn 20Pa i mesteparten av tiden (se vedlegg H).

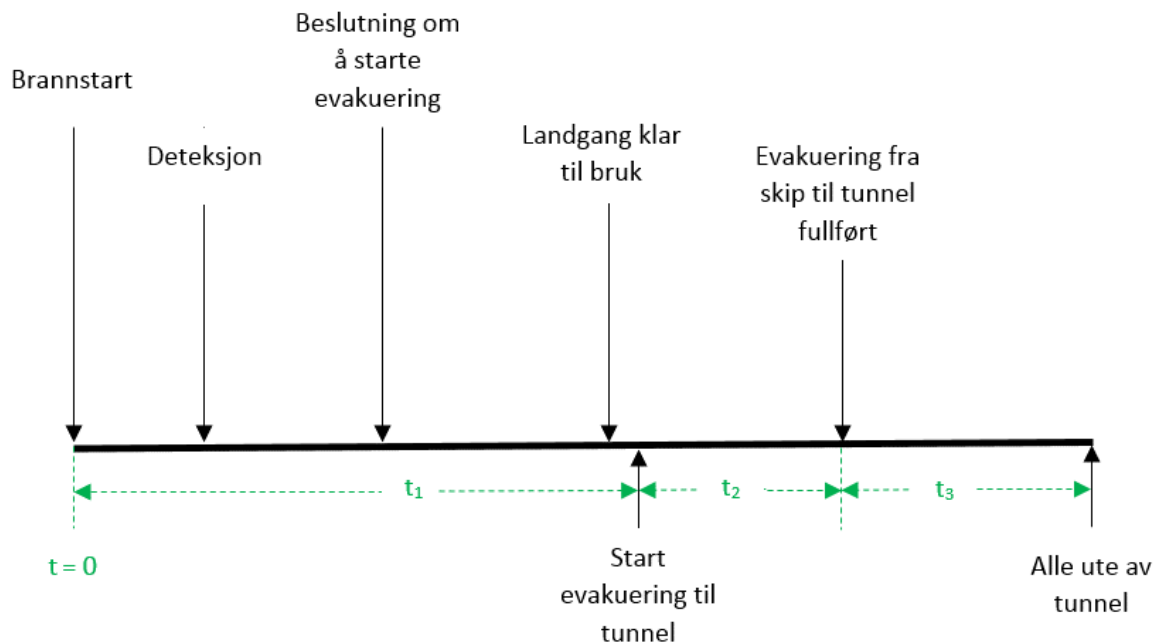
Det er derfor sannsynlig at trekkforholdene vil variere i løpet av tiden en brann og evakuering pågår i tunnelen. Det er derfor også vanskelig/ umulig å forutsi spredning av røyk i tunnelen basert på naturlig trekk. Dersom det skal være mulig må mekanisk ventilasjon benyttes.

Muligheter for bruk av mekanisk ventilasjon for å kontrollere røykspredning i løpet av en evakueringsituasjon er drøftet i Vedlegg H.

## Evakueringstid

Total evakueringstid ut til sikkert sted for personer om bord i skip er avhengig av en rekke faktorer. Figur 2 nedenfor illustrerer tiden som utgjør nødvendig rømningstid ved brann i skip.

Brannutvikling og tid til evakuering av skip til tunnel har betydning for hvor mye tunnelen og gangbanene er eksponert for brann og røyk. I CFD-analysene er det en tilnærmet konstant branneffekt vurdert. Det antas i det følgende at brannene som er vurdert i CFD-analysene vil påvirke tunnelen i løpet av tiden før evakuering starter (i løpet av  $t_1$ ).



Figur 2: Tidslinje for evakuering fra skip i tunnel

Tiden frem til start evakuering ( $t_1$ ) er ikke vurdert nærmere ifm. denne rapporten. Det samme gjelder for forholdene om bord i skip frem til evakuering av skip er fullført er ikke vurdert. Det er derfor ikke tatt hensyn til faren for evt. brann- og røykeeksponering før personer er evakuert fra skip.

Personer vil være eksponert for brann og røyk langs gangbanen i løpet av  $t_2$  og  $t_3$  i Figur 2 ovenfor. Total eksponeringstid for hver person vil tilsvare  $t_3$ .

Kaptein Benny Didriksen på Hurtigruten Midnatsol har oppgitt at det kan antas en evakueringstid 30 minutter ved kai ved bruk av landgang. Dette innebærer at det kan antas at tiden  $t_2$  er rundt 30 minutter.

Evakuering i tunnelen skal skje på tilsvarende måte som ved kai. Skipet har flere muligheter for å tilrettelegge med landganger til kai, men fremkommeligheten vil være avhengig av mengden last som finnes om bord på skipet. Slike utganger benyttes derfor kun unntaksvis.

I tunnelen vil evakuering skje via en gangbane på 3,5 meter bredde. Ved bruk av landgang vil en del av bredden på gangbanen opptas av landgangen. Rømningsbredden vil derfor være redusert der landgangen legges. Innsnevring ved gangbane vil kunne medføre kødannelse på gangbanen.

Det er derfor utført en simulering i simuleringverktøyet Pathfinder for å se på hvor kø/trengsel dannes ved evakuering fra skip. Det er antatt at fri bredde mellom tunnelvegg og landgang er 1,5m.

Simuleringene viser at den store kødannelsen vil skje bord på skipet, se Figur 3, og ikke på gangbanen. Tidsestimatet som er oppgitt for evakuering av skip ved kai anses dermed representativt for evakuering til gangbane i tunnel.



Figur 3. Illustrasjon av persontettheten ved landgangen mot gangbanen (Pathfinder).

Forflytningstiden i tunnel ( $t_3$ ) er avhengig av avstand til portal, funksjonsnedsettelse hos evakuerende, siktforhold langs gangbanen og nødbelysning/ skilting langs gangbanen. Det antas at det ikke vil oppstå trengsel langs gangbanen (som er 3,5m bred).

Forflytningshastigheter vil kunne være 0,7-1,5 m/s i røykfrie områder (3). Forflytningshastighet for personer med funksjonsnedsettelse kan antas å være 0,7 m/s. I røykfylte miljøer og når sikten reduseres til < 10m vil forflytningshastigheten reduseres. Ved blind evakuering vil forflytningshastigheten reduseres ned mot 0,2-0,3 m/s. Ved vurdering av forflytningstid legges det til grunn en konservativ gjennomsnittlig forflytningshastighet på 0,5 m/s.

Tunnelens lengde er ca. 1700m. Ideelt sett vil maksimal avstand til portal være 850m. Dette innebærer en gjennomsnittlig forflytningstid på ca. 28 minutter. Variasjonen vil imidlertid kunne være stor, avhengig av tilstedeværelse av røyk, grad av funksjonshemming m.m. Dersom en brann på skip medfører varmestråling mot gangbane mot den ene portalen (dvs. at passasjerene vil måtte evakuere i en bestemt retning), vil lengden på fluktveien kunne bli betydelig lengre. Avhengig av skipets posisjon i tunnelen og brannstørrelse og -sted (i skipet), vil derfor forflytningstiden kunne være inntil ca. 1 time.

## Overlevelsesmuligheter i tunnel

CFD-analyser viser at røyk langs gangbaner må kunne forventes ved de vurderte scenarier.

Temperaturen i røyken som berører gangbaner vil imidlertid ha relativt lav temperatur et stykke bort fra brannen. Det antas at temperatur ikke overstiger 50-60°C.

Iht. ISO 13571 (2) vil ikke temperaturer på 50-60°C ha avgjørende betydning for overlevelsesmuligheter ved evakuering og innenfor en forflytningstid på 1 time.

Røykgasser langs gangbanene vil kunne medføre inkapasitet. Tid fram til inkapasitet som følge av giftige røykgasser kan beregnes ved hjelp av «Mass loss model» iht. ISO 13571:2007. Metoden går ut på å beregne røykkonsentrasjon ut fra forbrent masse. Røykkonsentrasjonen i beregningene nedenfor er utledet fra siktberegninger i CFD-analysene, der sikten er beregnet ut fra følgende uttrykk:

$$Sikt [m] = \frac{1 \left[ \frac{g}{m^2} \right]}{X_{sot}}$$

$X_{sot}$ : massekonsentrasjon av sot [ $kg/m^3$ ]

I CFD-analysene er det lagt til grunn en sotandel (soot yield) på 0,1 (10%). Ut fra dette kan røykkonsentrasjon beregnes med utgangspunkt i sikten langs gangbanen.

Tid til inkapasitet som følge av røyk beregnes ut fra følgende uttrykk:

$$X_{FED} = \sum_{i=1}^n \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\Delta m_{aa}}{V(C \cdot t)_i} \Delta t$$

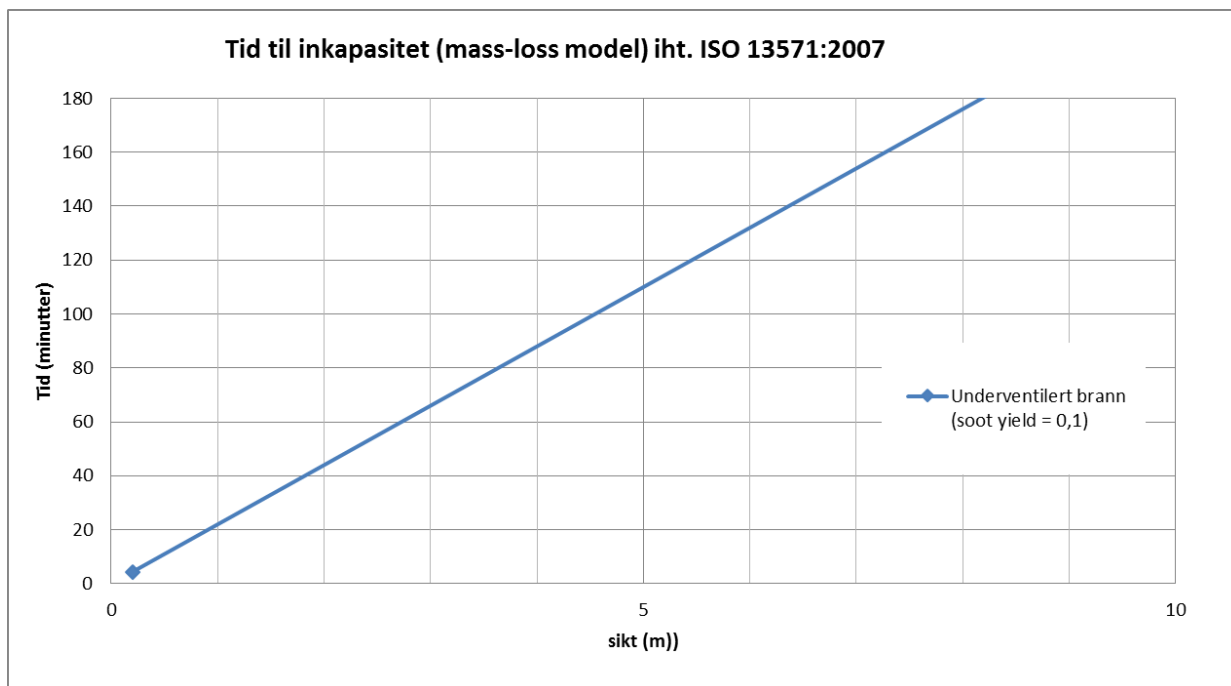
Der  $(C \cdot t)_i$  er kritisk akkumulert dose ved inkapasitet og  $m/v$  er røykkonsentrasjon.

Følgende kritiske doser for inkapasitet er angitt i ISO 13571:

- 220 g min/ $m^3$  for underventilerte branner (uten ventilasjon)
- 450 g min/ $m^3$  for ventilerte branner (med ventilasjon)

Ved beregning av evakueringsavstander ved brann i tunnelen er en kritisk dose på 220 g min/ $m^3$  lagt til grunn. Dette vil gi konservative estimater for evakueringsmulighetene ved brann.

Tid til inkapasitet ved ulike siktlengder iht. ovennevnte er angitt i Figur 4 nedenfor.



Figur 4: Tid til inkapasitet som følge av giftige røykgasser (iht. ISO 13571).

CFD-analysen viser at sikten i hodehøyde langs gangbanen er rundt 10m ved brannstørrelser på inntil 100MW, ved trekk i tunnelen. Uten trekk i tunnelen vil sikten gradvis forverres under hele brannforløpet.

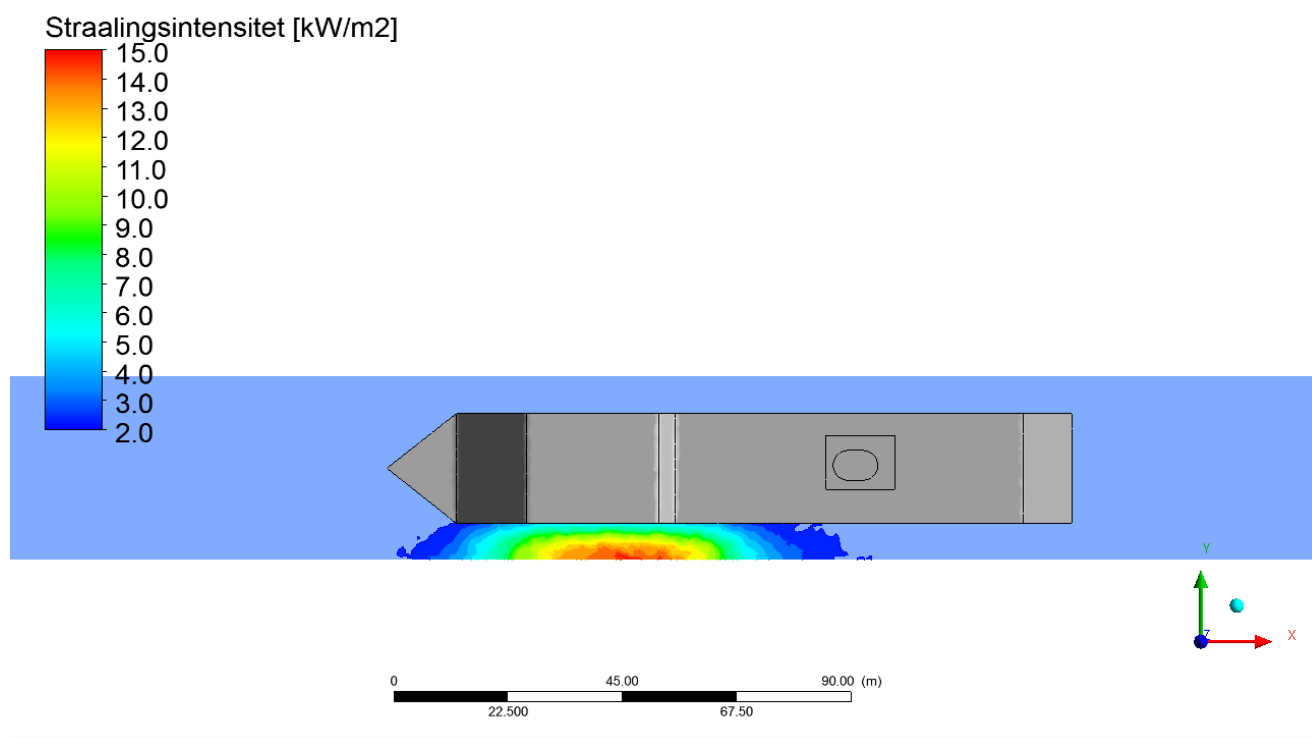
Beregningene viser at evakuering i røyk, hvor sikten er rundt 10m, ikke medfører kritiske påvirkning i løpet av beregnet forflytningstid i tunnel.

Varmestråling fra en brann vil kunne forhindre evakuering langs gangbanen. Varmestråling mot personer på gangbanen vil forekomme som følge av stråling fra flammer og fra røyksjikt i tunnelen.

Beregninger viser at varmemstrålingen fra en 100MW brann på dekk 5 vil overstige  $2 \text{ kW/m}^2$  i en utstrekning på ca. 90m som følge av temperatur i brann og flammene. Varmestråling som er høyere enn  $2 \text{ kW/m}^2$  vil kunne medføre personskaade og forhindre evakuering. Se Figur 5 og Vedlegg G.

Uten trekk eller ved liten trekk i tunnelen er det rimelig å anta at røykkonsentrasjonen og temperaturen i røyksjiktet vil øke over lang tid, slik at rømningsforholdene gradvis forverres. Tid til dette skjer er bl.a. avhengig av brannutvikling og brannstørrelse. Denne effekten er ikke vurdert i detalj i denne rapporten.

Varmestråling fra røyksjiktet til være mindre enn  $2 \text{ kW/m}^2$  ved trekk i tunnelen. Røyksjiktet og varmemstrålingen fra dette er ikke iht. ISO 13571 (2) kan det antas at en varmemstråling som er mindre enn  $2,5 \text{ kW/m}^2$  ikke vil bidra til kortere tid til inkapasitet ved evakuering. Utenfor området som er direkte påvirket av en brann vil derfor varmemstrålingen ikke være kritisk, gitt trekk i tunnelen.



Figur 5: Varmestråling 5m over havnivå (hodehøyde langs gangbane) ved 100MW brann på dekk 5.

## Oppsummering

Det er en usikkerhet knyttet til brann- og røykspredning i tunnel ved brann. Det er bl.a. stor variasjon i trekkforholdene i tunnelen og dette har betydning for røykspredning og konsentrasjon av røyk langs gangbaner.

Det er også usikkerhet knyttet til brannstørrelse og hvordan en brann vil kunne påvirke tunnelrommet. Det er f.eks. ikke vurdert hvor lenge en brann kan påvirke tunnelrommet før evakuering starter (som er veldig vanskelig å forutsi). Brannsted i skipet er også vanskelig å forutse, og er dermed tilknyttet usikkerhet. Dette kan blant annet ha betydning for evt. varmemestråling mot gangbanen. I den vurderingen som er gjort her er det tatt utgangspunkt i en verst tenkelig hendelse, med en stor brann (100 MW) som vokser svært raskt fra brannstart til full branneffekt.

CFD-analysen viser at sikten langs gangbanen er rundt 10m og varmemestrålingen mindre enn 2 kW/m<sup>2</sup> for brannstørrelser på inntil 100MW, gitt trekk i tunnelen (>20 Pa trykkforskjell mellom portaler). I tilfeller hvor det er stillestående luft eller liten trekk i tunnelen, kan sikten og varmemestrålingen bli ytterligere forverret og kan medføre kritiske forhold langs gangbanen. Effekten av en langvarig brann i stillestående luft eller med liten trekk er ikke utredet i tilstrekkelig grad og det er derfor ikke mulig å konkludere på dette punktet (se Vedlegg H). Her vil brannstørrelsen og brannutviklingen også ha stor betydning for hvordan evakueringsforholdene faktisk blir.

Det er også usikkerhet knyttet til hvordan rømningsforholdene i tunnelen vil endre seg dersom trekkretningen snur i løpet av en evakuerings situasjon. Dette er ikke utredet, og er også vanskelig å forutsi.

I tilfeller med trekk i tunnelen (>20 Pa trykkforskjell mellom portaler) vil røykkonsentrasjonen langs gangbanen være relativt lav. Overlevelsesmuligheter, selv ved 100MW, vil derfor være tilstede.

En brann på skip kan medføre kritisk varmemestråling mot gangbanen, men en vil være avhengig av at brannen/ flammer kommer ut av skipet på den siden det evakueres fra. Dette kan forhindre at korteste

vei mot portal er tilgjengelig for evakuerende. Avstand til portal og forflytningstid i tunnel kan derfor bli lang (inntil ca. 60 minutter).

Som nevnt er konsekvensvurderingen laget som underlag til vedlegg F Risikoanalysen, og der konsekvens settes i et risikoperspektiv, som også tar for seg sannsynligheten for denne typen hendelser.