

Memo

April 2017

Sikkerhed i Femern Bælt-tunnelen

1. Indledning

Femern Bælt-tunnelen vil forbinde Danmark og Tyskland med en tosporet jernbane og en firesporet motorvej under Femern Bælt. Med en samlet længde på ca. 18 km bliver den verdens hidtil længste sænketunnel til kombineret jernbane- og vejtrafik.

Det er Femern A/S' primære opgave at anlægge og drive en tunnel med et højt sikkerhedsniveau. Den overordnede sikkerhedsmålsætning er, at en tur gennem tunnelen ikke må udgøre en større risiko for brugerne end en tur på en tilsvarende normal jernbane- eller motorvejsstrækning i Danmark. Det tunneldesign, Femern A/S har udviklet, opfylder denne målsætning.

Dette notat beskriver de grundlæggende aspekter, der har indflydelse på tunnelens sikkerhed. Sikkerheden i tunnelen opnås i samspillet mellem tunnelens design, konstruktion, og de systemer og det udstyr, den forsynes med, samt de planer og procedurer for de danske og tyske beredskabers samarbejde og redningsindsats, der etableres. Notatet beskriver ligeledes de særlige forhold, der er gældende for henholdsvis vej og jernbane.

Endvidere beskrives vilkårene og grundlaget for Femern A/S' udarbejdelse af sikkerhedsdokumentation og det nødvendige samarbejde med danske og tyske redningsberedskaber og myndigheder.

1.	Indledning	1
2.	Grundlæggende sikkerhedskrav	2
2.1	EU Tunnelsikkerhedsdokumentation.....	4
2.2	Grundelementer i sikkerhedsdokumentationen.....	4
3.	Tunnelens indretning og tekniske udrustning.....	5
3.1	Konstruktion og geometri.....	5
3.2	Elforsyning	8
3.3	Datanetværk	9
3.4	Teknisk overvågning.....	9
3.5	Informationssystemer	9
3.6	Kommunikationssystemer	9
3.7	Fast brandslukningssystem i vej-tunnelrørene.....	10

3.8	Ventilationssystem.....	10
3.9	Femern Bælt-tunnelens kontrolcenter (LCC)	11
3.10	Overvågning og regulering af vejtrafik.....	11
3.11	Overvågning og dirigering af jernbanetrafik	12
4.	Risikoanalyse.....	12
5.	Opfyldelse af sikkerhedskrav til jernbane- og vejttunnel.....	13
5.1	Søjle 1 - Forebyggelse af ulykker og hændelser.....	14
5.1.1	Trafikovervågning og alarmsystemer	14
5.2	Søjle 2 - Begrænsning af ulykker og hændelser	15
5.2.1	Vejområde.....	16
5.2.2	Jernbaneområde.....	16
5.3	Søjle 3 - Selvredning til sikre områder efter uheld	17
5.3.1	Selvredning i vejttunnelen	17
5.3.2	Selvredning i jernbanetunnelen.....	18
5.4	Søjle 4 - Redningsberedskabernes indsats	19

2. Grundlæggende sikkerhedskrav

Femern Bælt-tunnelen designes i medfør af statstraktaten på grundlag af danske normer og standarder, hvilket i hovedsagen betyder, at Eurocodes vil ligge til grund. Eurocodes er et normsæt udviklet i regi af EU som en fælles europæisk standard for konstruktioner. Ved danske og tyske myndigheders godkendelse af konstruktionen sikres det, at designet af tunnelen opfylder de to landes sikkerhedskrav til konstruktioner af denne type.

I den forbindelse udarbejdes en omfattende sikkerhedsdokumentation, herunder risikoanalyser for driften af tunnelen.

Der er to europæiske centrale regelsæt for krav til tunnelsikkerhed på veje og jernbaner i det europæiske transportnetværk, som projektet skal opfylde. Det er for det første direktivet om minimumskrav til sikkerheden i vejttunneler i det trans-europæiske vejtransportnetværk (2004/54/EF) og for det andet Kommissionens forordning om tekniske specifikationer for interoperabilitet gældende for sikkerhed i jernbanetunneler i jernbanesystemet i Den Europæiske Union (1303/2014/EU), kort: TSI SRT. Hertil kommer relevant national lovgivning i begge lande.

Ud over opfyldelse af alle gældende krav har en række omfattende risikoanalyser dannet grundlag for designet af tunnelen. Risikoanalyser anvendes til at vurdere og dokumentere det overordnede sikkerhedsniveau for den faste forbindelse, når denne tages i drift. Dertil beregnes summen af risikobidrag fra forskellige ulykkesscenarier, der sammenholdes med

risikoacceptkriterier, der er beregnet på grundlag af statistisk data for eksisterende motorveje, og risikoacceptkriterier for jernbaneinfrastrukturen, der er fastsat af EU.

Tunnelen er designet så transport af farligt gods kan foregå sikkert i overensstemmelse med internationale og nationale love og regler. Den er desuden designet, så følgerne af ulykker med brændbart og kemisk, farligt gods begrænses ved hjælp af de forskellige sikkerhedsrelaterede anlæg, der er beskrevet i det efterfølgende. Inden der gives tilladelse til ibrugtagning af tunnelen, træffer de relevante godkendelsesmyndigheder i både Danmark og Tyskland afgørelse om, hvorvidt der skal fastsættes særlige regler eller restriktioner for transport af farligt gods.

Femern Bælt-forbindelsen er et dansk-tysk projekt, som kræver godkendelser i begge lande. I Tyskland bliver projektet godkendt i en myndighedsgodkendelsesproces af *Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein* (LBV SH) og udmøntes i en samlet byggetilladelse. I Danmark er projektet godkendt af det danske Folketing ved en anlægslov i 2015 (Lov nr. 575) og en implementeringsredegørelse, som beskriver, hvordan projektet vil blive udmøntet, og hvordan miljø- og naturhensyn vil blive varetaget på den danske side under anlægs- og driftsfasen.

Der kræves i henhold til tyske regler herudover en statisk godkendelse (Bauaufsichtliche Genehmigung) af konstruktionen. Startende allerede i designfasen sker dette ved en uafhængig ekspertvurdering, udført af et vurderingsorgan, der er autoriseret af de tyske myndigheder.

Godkendelse af jernbaneinfrastrukturen sker ved den nationale sikkerhedsmyndighed, Trafikstyrelsen i Danmark og Eisenbahn-Bundesamt (EBA) i Tyskland. Denne godkendelsesproces er gennem hele projektforløbet understøttet af løbende, uafhængige vurderinger, der udstedes af de akkrediterede europæiske vurderingsorganer, Assessment Body og Notified Body. Vurderingerne gælder både de sikkerhedsmæssige aspekter og verifikationen af, at projektet opfylder EU's krav til Technical Specifications for Interoperability (TSI), den såkaldte verifikation af EU-konformitet. Derudover vil det nationale vurderingsorgan, det såkaldte bemyndigede organ (Designated Body), varetage en uafhængig vurdering af jernbaneprojektets opfyldelse af notificerede nationale tekniske krav (NNTR), der yderligere udgør kravgrundlaget, der skal anvendes på jernbaneinfrastrukturen.

Godkendelse af vejinfrastrukturen sker i Tyskland ved den administrative vejsikkerhedsmyndighed i Slesvig-Holsten og i Danmark af Vejdirektoratet og politiet.

I henhold til statstraktaten mellem Danmark og Tyskland om en fast forbindelse over Femern Bælt fra 2008 er det Femern A/S' opgave at udarbejde et sikkerhedskoncept. Sikkerhedskonceptet er omtalt i traktatens §14, stk. 3: "Selskabet har inden åbning af den faste forbindelse over Femern Bælt pligt til at udarbejde et sikkerhedskoncept og afstemme det med de i henhold til stk. 1 kompetente myndigheder. Sikkerhedskonceptet skal især indeholde en beskrivelse af samarbejdet mellem de kompetente myndigheder og selskabet samt planer for mulige nødsituationer".

Samarbejdet mellem Femern A/S og de kompetente myndigheder er organiseret i F-SURR (Femern – Sikkerhed, Uheld, Redning, Rydning).

Hertil kommer, at Femern A/S som led i opfyldelse af EU's sikkerhedsdirektiv for vej-tunneler skal udarbejde sikkerhedsdokumentation for tunnelen.

2.1 EU Tunnelsikkerhedsdokumentation

Ifølge Tunnelsikkerhedsdirektivet (2004/54/EF) skal der i forbindelse med alle europæiske vej-tunneler udarbejdes en såkaldt Tunnelsikkerhedsdokumentation. Dokumentationen skal bl.a. indeholde udførlige beskrivelser af anlæggets tekniske udformning, trafikprognose, risikoanalyse, organisation og samarbejde mellem redningsberedskaber og myndigheder samt procedure for løbende forbedring og optimering. Opfyldelse af traktatens artikel 14 indgår i princippet som en delmængde af den samlede Tunnelsikkerhedsdokumentation, og begge dele udarbejdes af Femern A/S i en koordineret proces.

Tunnelsikkerhedsdokumentationen er et kompleks af mange dokumenter med referencer til relevante baggrundsrapporter, analyser, designkrav og tekniske dokumentation. Tunnelsikkerhedsdokumentationen udvikles parallelt med designet i projektfasen, og opdateres og godkendes inden driftsfasen, hvorefter den løbende holdes opdateret i tunnelens levetid.

I henhold til lovgivningen gælder de samme forhold for sikkerhedsdokumentationen for jernbaneinfrastrukturen i tunnelen. Det europæiske jernbanesikkerhedsdirektiv (2004/49/EC) kræver derudover anvendelse af en fælles metode til risikovurdering og risiko management af driftsrisici på jernbaneområdet. Denne metode er implementeret i alle europæiske medlemsstater ved den såkaldte CSM RA Forordning (EU-402-2013 *Common Safety Method for Risk evaluation and Assessment*). Forordningens korrekte anvendelse i Femern Bælt-projektet dokumenteres ved en sikkerhedsvurderingsrapport udstedt af det førnævnte uafhængige sikkerhedsvurderingsorgan (CSM RA) Assessment Body. Rapporten forelægges den godkendende jernbanesikkerhedsmyndighed, Trafikstyrelsen i Danmark og Eisenbahn-Bundesamt i Tyskland, som en væsentlig del af Femern A/S' ansøgning hos denne myndighed om ibrugtagningstilladelse af jernbaneinfrastrukturen.

2.2 Grundelementer i sikkerhedsdokumentationen

Opfyldelse af de lovgivningsmæssige sikkerhedskrav for jernbane og vej-tunnelanlæg kan opsummeres i fire overordnede søjler. Under hver søjle er der i det efterfølgende nævnt eksempler på sikkerhedsrelaterede tiltag. De fire søjler er:

- 1) Forebyggelse af ulykker og hændelser
 - Tunnelens udformning og geometri med fx ensrettet trafik i alle rør og nødspor og særlige vigepladser i vejområdet til service i specialelementerne
 - Dynamisk trafikregulering
 - Kontinuerlig overvågning af tunneltrafikken
 - Kontinuerlig overvågning af alle tekniske anlæg
 - Effektivt og sikkert signalsystem til jernbanen, der er en del af Banedanmarks kommende signalsystem, ERTMS

- 2) Begrænsning af uheld og ulykker
 - Brandsikring af konstruktioner
 - Vandbaseret brandslukningssystem i vejttunnelrør
 - Effektiv ventilation, der ligeledes forhindrer røgspredning mellem tunnelrør
 - Mulighed for hurtigt at iværksætte restriktioner på trafikafviklingen (hastighed, vognbanelukning og/eller lukning af tunnel)
- 3) Selvredning og evakuering til sikre områder
 - Kort afstand til sikre områder overalt i tunnelen
 - Vejtrafik og jernbanetraffic kan hurtigt afbrydes eller indskrænkes
 - Direkte information til billister via afbryde-funktion til FM og DAB (bilradio)
 - Direkte information til evakuerede og trafikanter i vejttunnelen via dynamiske skilte og højttalerudkald
- 4) Redningsberedskabernes indsats
 - Mange tiltag til at lette redningsberedskabernes indsats
 - Et sammenhængende koncept for samarbejde og ansvarsfordeling
 - Et sammenhængende kommunikationskoncept
 - Fuld dækning i hele tunnelen med både dansk og tysk beredskabsradio

Under udviklingen af Femern Bælt-tunnelens design er relevante sikkerhedsforanstaltninger blevet inkluderet, som medvirker til at reducere de risici, der følger af de hændelsesscenarier, der er undersøgt og vurderet i forbindelse med hver af de fire ovennævnte søjler.

Tiltag under hver af de fire søjler understøttes på flere måder af Femern A/S' arbejde med design, organisation og samarbejde med relevante myndigheder. Understøttelse sker for det første gennem tunnelens fysiske design, konstruktion og udrustning. For det andet gennem de procedurer, som er fastlagt for, hvordan tunnelens servicepersonale og redningsberedskaber skal anvende og drage nytte af den fysiske indretning og udrustning. For det tredje gennem de procedurer, som er fastlagt for samarbejde og kommunikation, dels mellem tunnelens serviceorganisation og redningsberedskaberne, dels mellem redningsberedskaberne og øvrige myndigheder i henholdsvis Danmark og Tyskland.

I de efterfølgende afsnit findes først en overordnet beskrivelse af tunnelens indretning og tekniske udrustning (afsnit 3). De systemer og den arkitektur, som indgår i dette afsnit, har på forskelligvis betydning for de fire søjler i sikkerhedskonceptet. Herefter kort om grundlaget for risikoanalyserne (afsnit 4). Slutteligt følger et afsnit (afsnit 5), der i dybden beskriver hver enkelt af de fire søjler i sikkerhedskonceptet.

3. Tunnelens indretning og tekniske udrustning

3.1 Konstruktion og geometri

Femern Bælt-tunnelens geometri udgør i sig selv et vigtigt forebyggende sikkerhedselement. Tunnelen omfatter fire separate rør – et for hver kørselsretning og trafikform. Hertil kommer et femte rør, i form af en installationsgang mellem motorvejsrørene, der sikrer, at teknisk

udstyr i tunnelen kan inspiceres og serviceres uden forstyrrende indvirkning på trafikken og til gavn for arbejdsmiljøet.

Tunnelen er konstrueret og anlagt på en måde, så den er beskyttet mod oversvømmelse og skader fra synkende skibe, skibsankre mv. Ankring i tunnelområdet vil i øvrigt være forbudt.



Figur 1, Tunneltværsnit

Både vej- og jernbanetunnelrør er forbundet med nødudgange for hver max. 110 m. Denne afstand er betydeligt kortere end EU-standardkravet, der foreskriver 500 m afstand mellem nødudgange.

Yderligere er vej- og jernbanetunnelrørene beklædt med en brandbeskyttende beklædning, hvormed konstruktionerne kan modstå brandbelastninger med temperaturer på op til 1.350 grader celsius i tre timer.

For Femern Bælt-tunnelen er den restriktive hollandske brandkurve RWS valgt som kravgrundlag. De fleste tunneler er dimensioneret til at kunne modstå brande på 50 eller 100 megawatt i et givet tidsrum, mens Femern Bælt-tunnelen er dimensioneret til at modstå brande på helt op til 200 megawatt i tre timer. Til sammenligning kan en brand i en almindelig personbil afhængig af omstændighederne udvikle en effekt på cirka 5 megawatt.

Vejtunnelrør

- Ensrettet trafik forhindrer frontale sammenstød og blænding.
- Begge vej-tunnelrør er forsynet med nødspor. Derved vil standsede eller strandede køretøjer ikke hindre trafikstrømmen.
- I det sydgående motorvejsrør er der med regelmæssige mellemrum etableret separate parkeringsområder uden for nødsporet til servicekøretøjer (i de såkaldte "specialelementer"), så disse ikke forstyrrer den normale trafik.
- Der monteres specialformede betonautoværn langs væggene, som vil reducere sandsynligheden for følgeulykker, hvis en bil rammer autoværnet. Ved kollision rettes køretøjet op, når det rammer betonautoværnet, uden at det går i spin eller ukontrollabelt mister retning.
- En profileret vejafstribring (såkaldte rumlestriber) med haptisk og akustisk advarsels-effekt vil blive anvendt. Princippet kendes fx fra motorveje eller landeveje i bl.a. Danmark.

- Vejhældningen i motorvejsrørene er meget lille overalt, hvilket reducerer risikoen for overophedning af bremses og turboladere i større køretøjer som fx lastbiler og busser.



Figur 2, Tegning af det sydgående (ydre) vejtunnelrør. I loftet ses en niche med jefans, der er en del af ventilationssystemet

Jernbanerør

- Der findes ingen sporskifter eller overkørsler i tunnelen eller direkte før og efter portalerne ved tunnelmundingerne. Dette begrænser risikoen for afsporing.
- Nødfortovene på hver side af sporet i begge jernbanerør er designet til at kunne stabilisere toget og forhindre trykpåvirkning af tunnelvæggen i tilfælde af afsporing.



Figur 3, Tegning af det indre jernbanetunnelrør. I loftet ses en ventilator som del af ventilations-systemet.

Generelt er der alle kritiske konstruktionsdele brandbeskyttet, så konstruktionens bæreevne opretholdes i tilfælde af brand. Konstruktionerne er ligeledes dimensioneret til at modstå trykpåvirkninger fra en eksplosion.

3.2 Elforsyning

Stabil og sikker elforsyning er central for tunnelens almindelige drift og sikkerhedssystemer. Der er derfor gjort en række tiltag til at sikre en stabil og uforstyrret elforsyning.

Tunnelen kan strømforsynes fra både dansk og tysk side, hvilket giver en betydelig forsyningssikkerhed, idet Tyskland og Østdanmark er koblet på to forskellige dele af det trans-europæiske el-net. Derudover er der nødstrømsforsyning til at sikre en afbrydelsesfri omkobling mellem de to el-net samt nødvendig nødstrømsforsyning til fx nødbelysning, beredskabsradionet og overvågning, hvis tunnelen helt skulle miste ekstern elforsyning. Nødstrømsforsyning vil sikre, at alle sikkerhedsrelevante funktioner også er operationelle i tilfælde af en omfattende strømafbrydelse. For alle kritiske systemer er der defineret specifikke krav til, hvor længe de skal kunne nødstrømforsynes. Typisk ligger det mellem to og otte timer. Nødstrømsforsyningstiden er tilrettelagt i overensstemmelse med de evakueringsscenarier, der indgår i sikkerhedskonceptet.

En situation med et *samtidigt og totalt nedbrud* af elforsyningen i både Tyskland og Østdanmark har ekstremt lav sandsynlighed. Anvendelse af ventilation og drænpumper kræver, at tunnelen kan strømforsynes fra enten dansk eller tysk side. Hvis disse systemer ikke kan anvendes, vil tunnelen af sikkerhedsmæssige årsager blive lukket for almindelig trafik.

Kørestrøm til jernbanen forsynes som hovedregel fra dansk side. Det er muligt i begrænset omfang at forsyne med kørestrøm fra tysk side, men antallet af samtidige tog, der kan køre, vil være reduceret.

3.3 Datanetværk

I hele tunnelen er der udlagt et robust og fejltolerant redundant datanetværk, der forbinder alt teknisk udstyr i tunnelen med de centrale datadriftscentre, der er placeret i tunnelens to portalbygninger og med Femern Bælt-tunnelens kontrolcenter (også kaldet Link Control Center, herefter benævnt LCC). Datannetværket er opbygget som et såkaldt ringbaseret netværk med en høj grad af redundans, hvor der altid er mindst to uafhængige kabelføringsveje ud til det sted, hvor udstyret er placeret. Tilgængeligheden af tunnelen er betinget af, at LCC altid har forbindelse til teknisk udstyr i tunnelen med henblik på overvågning og styring.

Datanetværket er løbende overvåget og sikret mod uautoriseret indtrængning.

3.4 Teknisk overvågning

Tunnelen er udstyret med et omfattende system af sensorer og målepunkter til overvågning af tunnelens tekniske udstyr, miljø, luftkvalitet og trafikale anvendelse. Sikkerhedsrelevante installationer (branddetektering, nødbelysning, nødkommunikation og andre systemer) er beskyttet mod skader som følge af mekanisk påvirkning, varme eller brand. Det meste udstyr er endvidere dubleret og redundant, så der i tilfælde af, at udstyret er ude af funktion som følge af fx service eller nedbrud, vil der være data til rådighed fra tilsvarende udstyr i nærheden.

3.5 Informationssystemer

I vejttunnelen er der opsat højtalere til at foretage udkald i tunnelen. Udkald kan være forbedrede udkald på flere forskellige sprog eller direkte udkald fra tunnelens kontrolcenter (LCC). Endvidere kan opkald i højtaleranlægget ske til hele vejttunnelen, til udvalgte geografiske zoner eller strækninger i tunnelen, således at der fx gives én besked i det uheldsramte rør og en anden besked i det ikke uheldsramte rør.

Et tilsvarende system findes til FM- og DAB-radio, hvor der med en afbrydelsesfunktion, som det kendes fra trafikmeldinger i radioen, kan gives besked til trafikanterne i tunnelen.

Som en yderligere mulighed kan de variable trafikskilte i tunnelen bruges til at give beskeder i form af tekst, piktogrammer eller animationer til trafikanter og/eller evakuerede personer i tunnelen. Information via skilte kan zoneinddeles, og skriftelige beskeder kan vises på flere forskellige sprog, fx i en cyklus.

Der implementeres funktionalitet i LCC til koordination og styring af udkald og beskeder mellem de forskellige kanaler.

3.6 Kommunikationssystemer

Tunnelen udstyres overalt med et distribueret antennesystem, der giver mulighed for anvendelse af både dansk og tysk national beredskabsradio, mobiltelefoni og mobilt bredbånd. Endvidere er jernbanetunnelrørene udstyret med dækning for GSM-R, der er det radiosystem, der benyttes til kommunikation mellem tog og togkontrolcentret (herefter benævnt TCC) i København.

Antennesystemet er baseret på særlige langsgående antennekabler, der er opdelt i uafhængige 900 meter sektioner. Antennerne er placeret under loftet i alle tunnelrør og tekniske områder.

Systemet giver mulighed for at lade flere operatører (fra både Danmark og Tyskland) etablere mobildækning i tunnelen.

Adgangen til beredskabsradio er yderligere sikret med redundans, så radiodækning ikke mistes over hele strækningen, hvis fx en brand på et sted ødelægger det særlige langsgående antennekabel.

3.7 Fast brandslukningssystem i vej-tunnelrørene

Der er installeret et fast brandslukningssystem i motorvejsrørene. Brandslukningssystemet styres fra LCC i tilfælde af brand.

Et fast brandslukningssystem vil have flere positive effekter. Systemet vil afhængigt af omfanget af en brand enten kunne undertrykke eller helt slukke branden. Systemet kan yderligere hindre, at branden spreder sig til andre køretøjer i nærheden, og derved også nedbringe risikoen for, at der udvikles ekstreme temperaturer. I kraft af systemets branddæmpende egenskaber kan systemet også begrænse røgd udviklingen, hvilket forbedrer bilisternes redningsmuligheder og arbejdsforholdene for redningsberedskabet.

3.8 Ventilationssystem

Ventilationsanlægget, der er installeret i alle tunnelrør, vil ikke være i brug ved normal drift.

Den naturlige ventilation fra trafikflowet tilvejebringer normalt tilstrækkeligt med frisk luft i tunnelen. Biler og tog vil nemlig presse luften i tunnelen ud og suge frisk luft ind og dermed sikre god luftkvalitet. Naturlig ventilation vil overalt kunne suppleres med mekanisk ventilation fra tunnelens ventilationsanlæg, eksempelvis hvis vejtrafikken flyder langsomt eller går i stå.

Med ventilationssystemet kan luftstrømmen i tunnelen styres enten i den ene eller anden retning. Ventilationssystemet styres fra LCC. Det er enkelt, driftssikkert og kraftigt udstyr, med betydelig reservekapacitet, som kan håndtere både normale forhold og særligt kritiske situationer.

Hvis der er registreret en hændelse med brand i et jernbanerør, vil personalet i LCC straks aktivere ventilationssystemet for at producere et overtryk i de rør, der ikke er berørt af hændelsen. Denne trykforskel forhindrer, at eventuel røg fra det uheldsramte rør vil kunne sprede sig til evakueringsvejen og til det sikre område i vej-tunnelrøret.

Ud over at begrænse en brand er det vigtigt at kunne kontrollere udvikling og udbredelsen af røg eller dampe. Ventilationssystemet sikrer, at røgen på en kontrolleret måde kan blæses i en ønsket retning, hvilket typisk vil være i trafikretningen, og at der i de øvrige tunnelrør samtidig kan skabes et overtryk, så der ikke trænger røg ind i de ikke-uheldsramte rør. Hermed hindres røgspredning mellem tunnelrørene.

3.9 Femern Bælt-tunnelens kontrolcenter (LCC)

Femerns Bælt-tunnelens kontrolcenter (LCC), der er placeret ved Rødbyhavn, bliver det primære center for kontrol og overvågning af det samlede tunnelanlæg. LCC får operatørfunktioner til styring og overvågning af vejtrafik, betalingsanlæg og vedligehold. LCC er bemandedt døgnet rundt. Overvågningen sikrer, at uregelmæssigheder i tunnelen hurtigt opdages og håndteres. Det er Femern A/S' driftspersonale, der varetager såvel den daglige regulering af vejtrafikken som den løbende overvågning af alle tekniske installationer.

Fra LCC kan man fx følge togenes position i tunnelen. LCC er derudover ansvarlig for at overvåge tilgængeligheden af jernbanetunnelen i forhold til fx ulovlig indtrængning, luftkvalitet, drænvand og andre sikkerhedsrelevante forhold.

LCC er en central del af driften af Femern Bælt-tunnelen, og det vil være indrettet med fokus på et godt og effektivt arbejdsmiljø, der giver operatørerne de bedste muligheder for at holde overblik over hele dækningsområdet for tunnel, portaler, ramper og tilkørselsområder. Selve jernbanetrafikken dirigeres fra TCC.

Kontrolrumssystemet bliver suppleret med en mulighed for at give fx beredskaberne en fjernadgang til systemet. Via fjernadgang kan der vises billeder fra videosystemet, aktuel status for trafikafviklingen (fx skilteplan), ventilation, miljøparametre osv. Systemet vil være til rådighed i en bygning ved portalen på Fehmarn og fra beredskabernes vagtcentraler i begge lande.

3.10 Overvågning og regulering af vejtrafik

Vejtunnelen samt portaler, ramper og adgang til tekniske områder er udstyret med et omfattende videoovervågningssystem. I vej-tunnelen anvendes primært faste kameraer, mens der uden for tunnelen primært anvendes fjernstyrede kameraer, der kan dreje, vippe og zoome. Systemet er integreret med alarmloggen, således at en alarm i LCC så vidt muligt kan ledsages af billeder fra stedet.

Vejtunnelen samt portaler og ramper er endvidere omfattet af et automatisk hændelsesdetekteringssystem. Systemet understøtter trafiklederen i LCC i arbejdet med at overvåge forbindelsen og hurtigt kunne iværksætte afværgende tiltag, hvis der registreres en hændelse eller en ulykke.

Automatisk hændelsesdetektering (Automatic Incident Detection eller AID) er en samlebetegnelse for teknologier til at analysere vejtrafik. Teknologien kan være baseret på avanceret billedanalyse af signaler fra almindelige og termografiske videokameraer, radar, laserscanning eller lignende. Det centrale er, at identifikation af ulykker i vej-tunnelen er baseret på automatik og ikke på, at nogen konstant følger trafikken via video. Hvis en hændelse indtræffer, vil operatøren få en alarm, og videoovervågningssystemet vil straks vise livebilleder fra hændelsesstedet. Videosystemet kan således både fungere som operatørens øjne på vejen og samtidigt anvendes som billedkilde (en af flere kilder) til automatisk billedanalyse.

Tunnelen er også udstyret med installationer til at regulere og tilpasse afviklingen af vejtrafik. Det sker via et såkaldt Intelligent Trafikstyringssystem (ITS), der er den tekniske fagbetegnelse for teknologi og systemer til at overvåge og styre vejtrafik. For Femern Bælt-tunnelen omfatter det variable trafikskilte for hver 450 m inde i tunnelen og i skilteportaler på udvalgte placeringer udenfor. Med de variable trafikskilte kan der sættes hastighedsrestriktioner, foretages vognbanelukninger og gives advarsler og informationer til billisterne. Systemet er ikke 'selvtænkende', men det guider og hjælper trafiklederen i LCC med at sætte korrekt skiltning, både i forbindelse med normal drift, vedligeholdelsesaktiviteter i tunnelen og i tilfælde af unormale forhold eller uheld. ITS-systemet har fx indbygget regler for gennemførelse af en tunnellukning, en vognbanelukning eller hastighedsbegrænsninger, således at risikoen for følgeulykker bliver mindst mulig. Hvis operatøren manuelt skulle styre alle de mange skilte, ville opgaven blive meget kompleks og omfattende.

Der sker i disse år en betydelig udvikling inden for dette område, og der er derfor endnu ikke fastlagt en specifik teknologi for AID- og ITS-systemer.

3.11 Overvågning og dirigering af jernbanetraffic

Togtrafikken i Femern Bælt-tunnelen overvåges og dirigeres fra Banedanmarks togdriftscentral i København (TCC), der overvåger og dirigerer togtrafik både indenfor og udenfor tunnelen, ligesom den hele tiden har kontakt med lokoførerne i de enkelte tog. Togdriftscentralen i Danmark er endvidere i konstant kontakt med den tilsvarende togdriftscentral i Tyskland.

Jernbanens signalsystem er det kommende ERTMS-signalsystem (European Rail Traffic Management System), der er et moderne, digitalt signalsystem med et højt sikkerhedsniveau. ERTMS-systemet, der er planlagt til at blive udrullet på hele det europæiske jernbaneland, giver togdriftscentralerne mulighed for bl.a. konstant at overvåge togenes hastighed og position, samt om nødvendigt via fjernstyring at overtage lokoførerens funktioner, f.eks. ved, at TCC selv kan standse toget. Skillepunktet mellem den danske og tyske styring af togtrafikken vil komme til at ligge på Fehmarn.

De to døgnbemandede TCC i Danmark og Tyskland er konstant i kontakt med hinanden og med Femern A/S' LCC.

TCC i København overvåger og styrer jernbanetraffic i tunnelen, mens overvågning af tilgængeligheden af selve jernbanetunnelen varetages af LCC. I tilfælde af en situation med manglende tilgængelighed for tunnelen (f.eks. hvis der er sket en vejulykke) vil TCC hurtigt modtage besked fra LCC, og TCC kan herefter hurtigt reducere eller helt standse togtrafikken. Når situationen er afhjulpet og LCC er klar til at genåbne tunnelen, er det alene TCC, som giver instrukser til de enkelte tog inden for LCC's område til at genoptage trafikken. Denne ansvarsfordeling sikrer et entydigt kommandohierarki.

4. Risikoanalyse

Design og dimensionering af tunnelen er baseret på en omfattende driftsrisikoanalyse. Risikoanalysen (Operational Risk Analysis (ORA)) beregner på basis af data givet af danske uheldsstatistikker, at over 99 pct. af risikoen for brugerne af vejforbindelsen i Femern Bælt-

tunnelen vil opstå som følge af "almindelige" ulykker i trafikken. Danske uhedsstatistikker for vejtrafik er vurderet i forhold til de tyske tilsvarende statistikker. De danske er vurderet som de mest stringente, og er derfor valgt som grundlag for risikoberegningerne i ORA.

Europæiske data viser, at risikoen for hændelser med brand i vejttunneler kun udgør en brøkdel af den resterende ene pct. En "almindelig" trafikulykke er en ulykke, der typisk er forårsaget af, at bilisterne f.eks. kører for stærkt eller er uopmærksomme – med andre ord årsager, der ikke er direkte relateret til, at bilisterne kører i en tunnel. I designet af tunnelen har man derfor fokuseret på, dels at forhindre trafikulykker, dels at begrænse eventuelle følger af disse, både for de implicerede og for den øvrige trafik.

Det kontrollerede og konstant overvågede miljø i tunnelen sikrer - i kombination med informationssystemer som variable trafikskilte - at trafikanterne til enhver tid har optimale trafikforhold. Derved elimineres en vigtig årsag til ulykker, idet hændelser, der kunne føre til ulykker, hurtigt kan registreres, og der kan iværksættes tiltag, som kan reducere eller standse trafikken.

Endvidere vil trafikanterne - i modsætning til bilister på en tilsvarende motorvej på land - ikke blive påvirket af dårlige vejforhold såsom tåge, kraftig blæst, is, sne, regn eller mørke. Sandsynligheden for trafikpropper i Femern Bælt-tunnelen er forholdsvis beskedent, da der ikke er tale om en vejstrækning præget af lokal myldretidstrafik, som fx indfaldsveje til en storby.

Som de europæiske uhedsstatistikker påviser, så sker jernbaneulykker meget sjældent, og blandt de få ulykker, som forekommer, sker det endnu sjældnere, at der opstår en brand i et tog. Udover at der medføres brandslukningsudstyr i alle tog, er der strenge lovkrav til brandbeskyttelse af såvel togmateriel som togenes inventar (sæder, gulve, barrierer mellem de enkelte vogne, etc.).

I selve jernbanetunnelen forefindes der normalt intet brandnærende materiale, og omfanget af tekniske installationer er søgt reduceret mest muligt. Jernbanens tekniske udstyr er fx placeret i specialelementerne, dels af hensyn til enkel vedligeholdelse, dels for at beskytte tekniske installationer, både mod brand og mekanisk påvirkning. Banetekniske installationer overvåges af TCC, mens miljø og brandalarmer overvåges af LCC. Brand i det samlede jernbaneanlæg vil forekomme yderst sjældent.

Samlet set viser resultatet af ORA'ens beregninger, at sikkerhedsniveauet for Femern Bælt-tunnelen er meget højt, og at tunnelen vil være mindst lige så sikker at benytte som tilsvarende strækninger på vej eller jernbane i åbent land i Danmark.

5. Opfyldelse af sikkerhedskrav til jernbane- og vejttunnel

Understøttelsen af eksterne sikkerhedskrav for jernbane og vejttunnelanlæg kan opsummeres i fire overordnede søjler. Under hver søjle er der i det efterfølgende nævnt eksempler på sikkerhedsrelaterede tiltag. De fire søjler er:

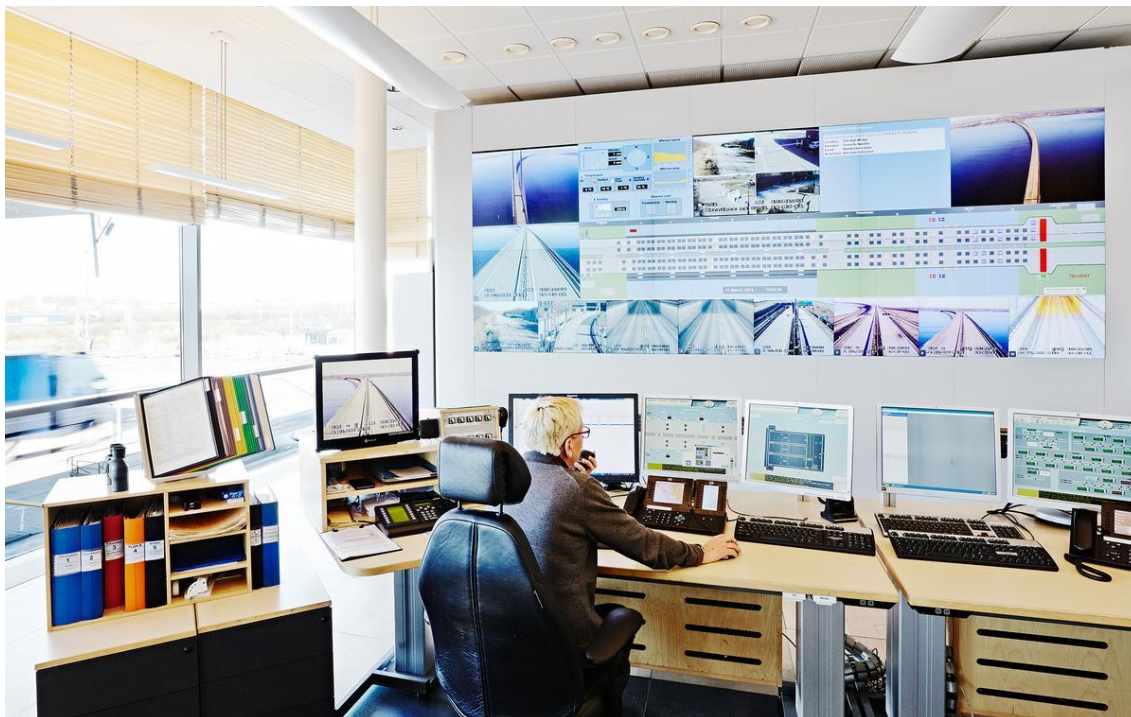
5.1 Søjle 1 - Forebyggelse af ulykker og hændelser

Det væsentligste tiltag med hensyn til at sikre et højt sikkerhedsniveau i en trafik tunnel er at forhindre, at der overhovedet indtræffer ulykker og hændelser. I forbindelse med Femern Bælt-tunnelen er der gjort en stor indsats for at forebygge og dermed begrænse disse risici dels via tiltag i det tekniske design, dels gennem krav til og procedurer for overvågning, kontrol og trafikledelse i den færdige tunnel.

5.1.1 Trafikovervågning og alarmsystemer

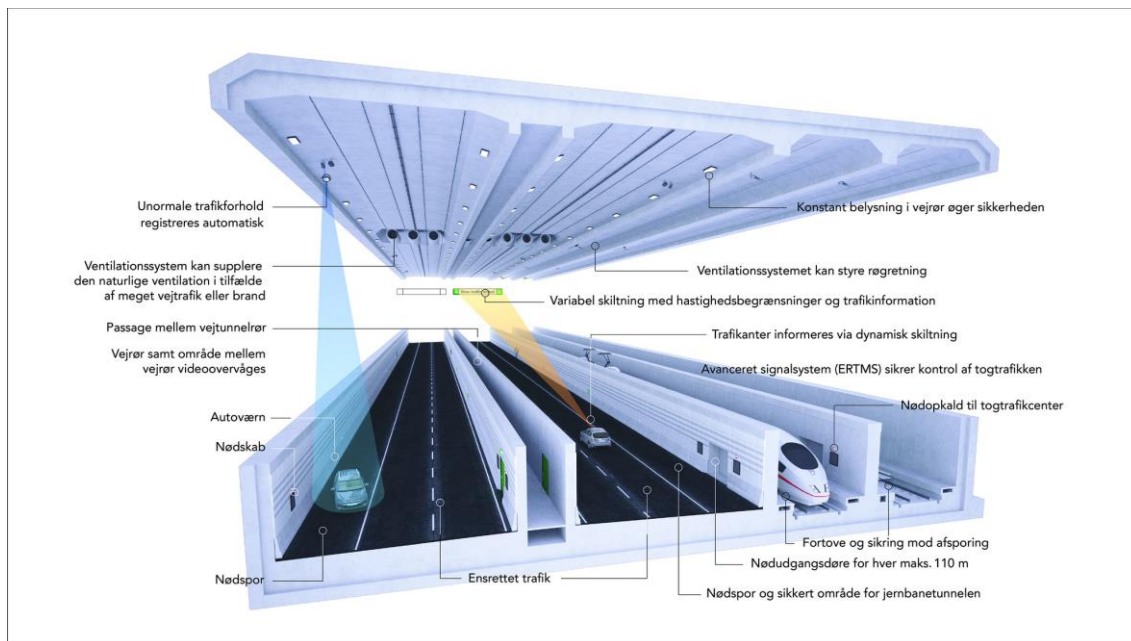
Operatørerne i LCC vil have adgang til kontrol- og overvågningssystemer for alt udstyr i tunnelen. Hertil kommer systemerne omkring regulering af vejtrafikafvikling samt kommunikationssystemer til internt brug og kontakt til politi og redningsberedskab på begge sider af bæltet. I tilfælde af unormale situationer, der kan føre til en ulykke, f.eks. standsede køretøjer eller personer på vejbanen, udsender systemet straks en alarm, så operatørerne omgående kan reagere og træffe de nødvendige foranstaltninger. Der vil være procedurer for, hvordan forskellige hændelser skal håndteres, og der vil altid blive grebet hurtigt ind i tilfælde af en hændelse, der kunne føre til en ulykke.

Femern A/S' servicepersonale vil løbende patruljere i biler i vej tunnelen. Personalet er uddannet til at yde førstehjælp, vejhjælp samt foretage elementær brandbekæmpelse i tilfælde af hændelser i vej tunnelrørene, ligesom de kan støtte operatørerne i LCC ved at foretage tilsyn af fx teknisk udstyr i tunnelen.



Figur 4, Et kontrolcenter. Eksemplet er fra Øresundsbroen.

Overvågningssystemerne i tunnelen vil automatisk registrere unormale situationer, såsom at trafikken bevæger sig langsommere, at et køretøj eller tog er standset, at der er brand eller forhøjede luftforureningsniveauer. Andre overvågningssystemer, der er anbragt uden for tunnelen, registrerer f.eks. køretøjer, der er for høje, og for jernbanetrafikkens vedkommende detekteres varmeløbne aksellejer og -hjul, før et tog kører ind i tunnelrørene.



Figur 5, Tunnelsikkerhedsudstyr og udstyr til forebyggelse af hændelser

På det danske jernbanenet arbejder man normalt med en sikkerhedsafstand på én blok-længde. For jernbanetunnelen er sikkerhedsafstanden øget til to blokafstande svarende til en afstand på minimum 3,6 km mellem to tog, som en ekstra sikkerhedsforanstaltning, der er blevet inkluderet i sikkerhedskonceptet.

5.2 Søjle 2 - Begrænsning af ulykker og hændelser

Femern Bælt-tunnelen er grundlæggende designet til at minimere sandsynligheden for, at ulykker opstår, og til at minimere konsekvenserne af dem, hvis de skulle opstå alligevel.

Hvis der på trods af de forebyggende foranstaltninger indtræffer en hændelse eller ulykke, har tunnelen en række foranstaltninger til at forhindre hændelsen eller ulykken i at sprede sig eller bringe andre tunnelbrugere i fare. Femern Bælt-tunnelen vil være udstyret med en række tekniske anlæg og systemer, der har til formål at begrænse konsekvenserne af sådanne begivenheder (se figur 6).

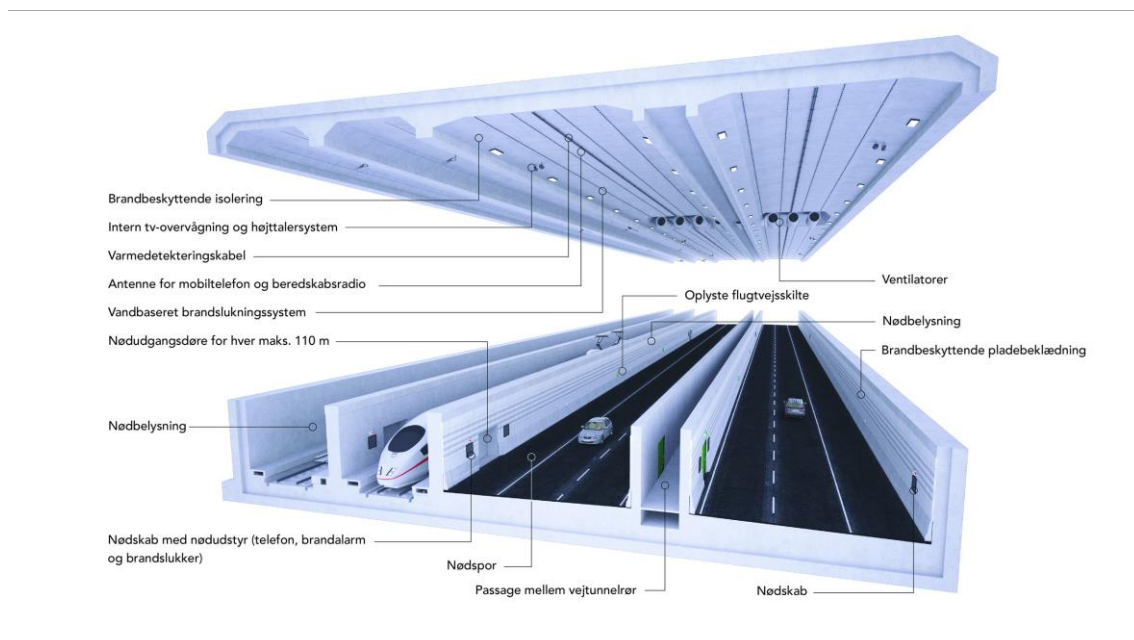
Det grundlæggende tiltag i den sammenhæng er separate tunnelrør for hver trafikform og -retning. En hændelse vil derfor som udgangspunkt kun påvirke et af de fire trafikrør, hvorefter de øvrige tunnelrør kan fungere som sikkert område for evakuerede og som adgangsvej for redningsberedskaberne.

5.2.1 Vejmråde

Hvis der opstår brand, kan biler i vej-tunnelen foran brandstedet forlade tunnelen i kørselsretningen. Køretøjer, der eventuelt må standse bag et brandsted, vil ikke blive udsat for røg, da ventilationssystemet vil blæse frisk luft ind bagfra og drive røgen fremad i tunnelen. Passagererne i disse biler kan forlade deres køretøj og via nødudgangene gå ind i det røgfri sikre område, som er det tilstødende ikke-uheldsramte vej-tunnelrør. Herfra kan alle evakueres hurtigt ud af tunnelen.

Det fastmonterede brandslukningsanlæg i vej-tunnelen kan endvidere i de fleste tilfælde enten helt slukke eller undertrykke branden, således at den ikke breder sig eller kommer ud af kontrol.

Tunnelen er desuden udstyret med nødtelefoner og brandslukningsudstyr ved alle nødudgange, som vejtrafikanter kan benytte, indtil hjælp når frem.



Figur 6, Tunnelinstallationer til begrænsning af følgerne af kritiske hændelser

5.2.2 Jernbaneområde

I tilfælde af brand i jernbanetunnelen eller i et tog vil TCC straks blive informeret af togets personale og foranledige, at al jernbanetrafik på vej mod tunnelen bliver stoppet. Tog, der befinder sig inde i tunnelen, vil enten fortsætte eller bakke ud, uden at blive berørt af branden.

Samtidig vil LCC blive informeret og derefter iværksætte lukning af bommene og blokere for, at yderligere vejtrafik kommer ind i tunnelen. LCC vil straks aktivere ventilationssystemet for at opbygge et overtryk i de rør, der ikke er berørt af hændelsen. Herved kan røgspredning forhindres.

Foruden de beskrevne tunnelinstallationer kan der iværksættes foranstaltninger i tunnelen til at mindske konsekvenserne for trafikanter, togpassagerer samt redningspersonale:

- I tilfælde af brand eller begrundet mistanke om brand alarmerer LCC dansk og tysk alarmcentral.
- Alle berørte brugere af vejttunnelen vil modtage advarsler og instrukser via skiltning, højtalere og radiotransmission i tunnelen.
- I vejttunnelen er der ved hver nødudgang et nødskab med nødtelefon, manuelt alarmtryk til LCC samt ildslukkere.
- I jernbanetunnelrørene er der ved hver nødudgang en nødtelefon med direkte kontakt til TCC. Denne kan bruges i det sjældne tilfælde, at jernbanens direkte radiokontakt, GSM-R, ikke kan benyttes.
- Ved hver fjerde nødudgangsdør i jernbanetunnelen vil der være faciliteter til at overvåge status for jernbanens kørestrøm og om nødvendigt manuelt afbryde og jorde kørestrømmen, så redningsberedskabets arbejde kan foregå sikkert.
- Kørestrøm kan i øvrigt fjernstyres fra Banedanmarks kontrolcenter for kørestrøm i København, fra kontrolcentret i Rødby samt fra Sund & Bælts kontrolcenter for kørestrøm i Halskov.
- I jernbanetunnelrørene er der el-udtag til redningsberedskabets værktøj og såkaldte tomrør til brandslukningsvand til brug for brandvæsenets vandforsyning mellem de enkelte tunnelrør.

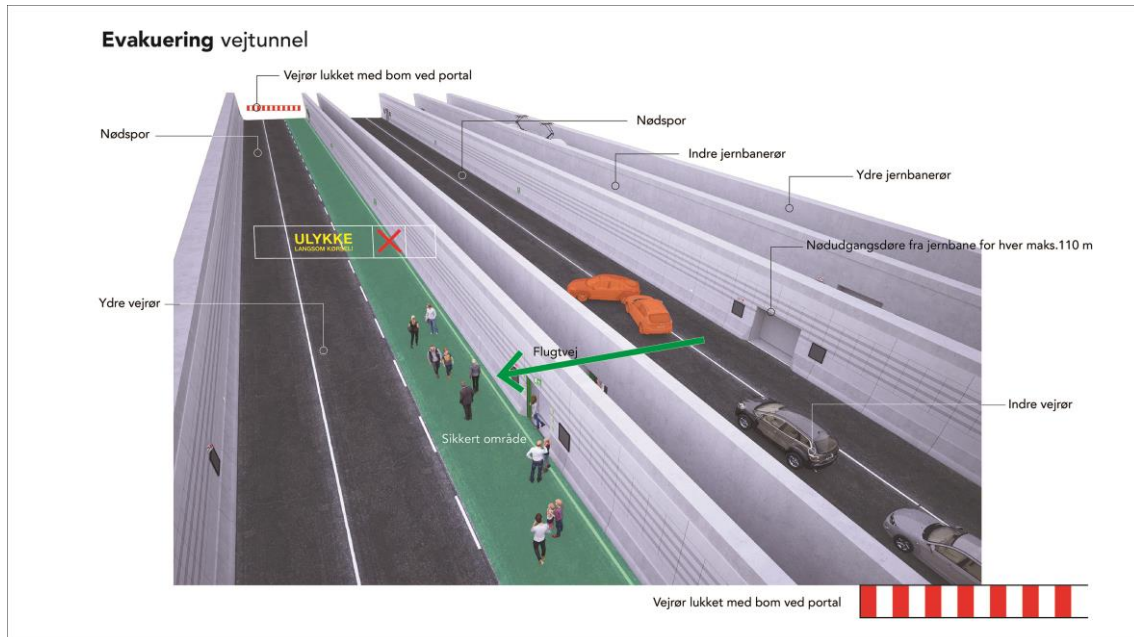
5.3 Søjle 3 - Selvredning til sikre områder efter uheld

Femern A/S har optimeret tunnelens design for at gøre selvredning enkel, hurtig og effektiv. Trafikanter, passagerer og togpersonale i Femern Bælt-tunnelen kan nemt bringe sig selv i sikkerhed i tilfælde af uheld, indtil redningsberedskabet kommer frem og yder hjælp.

Den vigtigste betingelse for hurtig selvredning er afstanden til den nærmeste nødudgang. Nødudgangene, der giver adgang mellem tunnelrørene, vil være placeret med en max. afstand på ca. 110 meters mellemrum, hvilket er en betydeligt kortere afstand, end myndigheder og standarder normalt kræver.

5.3.1 Selvredning i vejttunnelen

I vejttunnelrørene vil trafikanter blive informeret via skiltning, variable informationstavler, højtalere og radio. Hvis en alvorlig situation skulle opstå i det ene tunnelrør, vil alle, der er berørt af hændelsen, og som er forhindret i selv at køre ud af tunnelen, blive anmodet om at forlade deres køretøj og evakuere sig selv via nærmeste nødudgang. Nødudgangene fører ind til et sikkert område i det tilstødende vejttunnelrør. Her kan de opholde sig sikkert, indtil redningsberedskabet når frem.



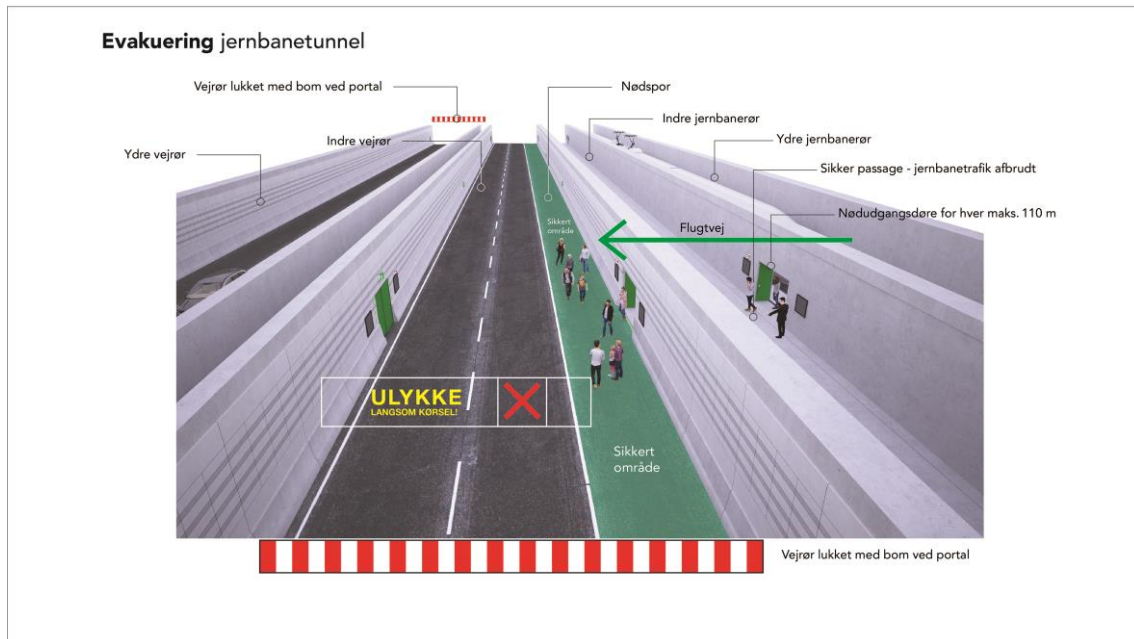
Figur 7, Illustration af selvredningskoncept for vej tunnelen. Grøn opmærkning markerer sikkert område for evakuerede.

5.3.2 Selvredning i jernbanetunnelen

Ved en brand i et tog inde i tunnelen vil passagererne blive bedt om at gå i sikkerhed i de togvogne, der ikke er berørt af branden. Toget vil fortsætte direkte til det såkaldte brandbekæmpelsessted, der ligger lige uden for tunnelen i åbent land. Herfra kan passagererne sikkert forlade toget ad evakueringsstier, som fører til en redningsplads ude i det fri.

Skulle der opstå en brand i et tog, der ikke kan slukkes med det brandslukningsudstyr, der findes i toget, og toget samtidig ikke kan forlade tunnelen, vil det være nødvendigt at evakuere toget. Togpersonalet vil være trænet til sådanne situationer og vil straks begynde evakueringen ved at instruere og guide passagerene til at følge skiltningen på flugtvejen, og via nødfortove og nøddugange gå til nødsporet i det inderste vejtrør. Nøddugangene fra det inderste jernbanetunnelrør giver direkte adgang til det sikre område i nødsporet i det inderste vejtrør. Passagererne kan dermed forlade brandstedet, længe inden de får skader fra en eventuel røgudvikling i det uheldsramte rør. Fra det sikre område i vejtrøret kan alle evakueres sikkert ud af tunnelen enten med busser eller til fods. Evakueringen fra toget vil kunne ske inden for få minutter.

Hvis hændelsen sker i det yderste jernbanerør krydser passagererne det inderste jernbanerør. Ved nøddugangene er der trappetrin og gangplader mellem skinnerne, så passagerene kan krydse sporet uhindret til det sikre område i vejtrøret.



Figur 8, Koncept for selvredning fra jernbanetunnelerne til det indre vejttunnelrør.

Når LCC registrerer en hændelse i jernbanerøret, vil indkørslen til vejttunnelrørene blive blokeret med bomme, så yderligere biltrafik forhindres. Via de variable trafikskilte kan hastigheden sænkes, og resterende trafik i vejttunnelen ledes til overhalingssporet længst væk fra nødsporet. Nødsporet udgør dermed et sikkert område, som følge af, at biltrafikken er standset ved tunnelmundingen, og de sidste biler i tunnelrøret er ledt bort fra nødsporet.

5.4 Søjle 4 - Redningsberedskabernes indsats

I tilfælde af en hændelse i Femern Bælt-tunnelen skal redningsberedskabet kunne nå frem til området hurtigst muligt. Korte udrykningstider og veletablerede samarbejdsprocedurer med en klar opgave- og ansvarsfordeling er afgørende i sådanne kritiske situationer.

Femern A/S har frem mod åbningen af tunnelen ansvaret for at udarbejde et sikkerhedskoncept i samarbejde med de kompetente danske og tyske myndigheder, fx redningsberedskab, sundhedsberedskab og politiet. Der er nedsat en fælles dansk-tysk styregruppe (kaldet F-SURR (Femern – Sikkerhed, Uheld, Redning, Rydning)) og en række arbejdsgrupper, fx vedrørende beredskabsplaner, digital kommunikation, øvelsesplanlægning mv.

Sikkerhedskonceptet beskriver de projektspecifikke risikofaktorer og uheldsscenerier, så myndighederne har et grundlag for at kunne foretage en korrekt dimensionering af beredskabet.

I regi af F-SURR er der gennemført analyser, studier, workshops, planspil, øvelser mm. med henblik på at etablere beslutningsgrundlaget for sikkerhedskonceptet.

I tiden frem mod anlægs- og driftsfasen vil de specifikke beredskabsplaner og –procedurer blive fastlagt, således at den organisatoriske ramme for det danske og det tyske beredskabs fælles indsats i tilfælde af uheld eller ulykker er fastlagt.

I den forbindelse vil beredskabsmyndighederne indgå de fornødne aftaler, der muliggør et effektivt grænseoverskridende samarbejde. De danske og tyske beredskabsmyndigheder har det endelige ansvar for godkendelse af sikkerhedskonceptet for anlægs- og driftsfasen.

Som det er tilfældet for alle andre vej- og jernbanetunnelanlæg, vil der i alle faser af projektet ske en løbende evaluering og optimering af alle sikkerhedsrelaterede forhold.

Myndighederne foretager regelmæssige inspektioner i driftsfasen, og der gennemføres løbende uddannelsesaktiviteter og testøvelser for at sikre, at beredskabspersonalet kan foretage den bedst mulige indsats i tilfælde af uheld og ulykker.