

SUND &amp; BÆLT HOLDING A/S

ADRESSE COWI A/S  
 Parallevej 2  
 2800 Kongens Lyngby

# KATTEGATFORBINDELSE - KYST-KYST ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

VENTILATION OG SIKKERHED

TEKNISK NOTAT

## INDHOLD

1	Indledning	1
2	Basis	2
2.1	Femern sænketunnel	2
2.2	Storebæltsforbindelsen	3
2.3	Kattegat tunnelforbindelser	5
3	Ventilation af vejttunnel	6
4	Ventilation af jernbanetunnel	7
5	Beskrivelse af forskellige ventilationskoncepter	7
5.1	Normal forureningsventilation	8
6	Sikkerhed	10
6.1	Vejttunnel	10
6.2	Jernbanetunnel	11
7	Foreløbig vurdering	12
7.1	Jernbanetunnel	12
7.2	Vejttunnel	13
8	Anbefaling	14

### 1 Indledning

Dette notat giver et overordnet overblik over ventilations- og sikkerhedsproblematikker for de tunnelløsninger der analyseres som en del af den

PROJEKTNR.

DOKUMENTNR.

A134385

A134385-GT-NOT-001

VERSION

UDGIVELSESDATO

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

KONTROLLERET

GODKENDT

1.0

8-09-2020

LWRA, BHA

BHA, TOOL

PTR, SSO

anlægstekniske forundersøgelse af en fast forbindelse på tværs af Kattegat. Udgangspunktet for dette er at drage paralleller til de validerede koncepter fra Danmarks p.t. længste planlagte tunnel; Femern sænketunnel.

Dette notat beskriver de væsentligste forhold gældende for ventilation og sikkerhed af lange tunneller, samt en vurdering af disse i relation til ligheder og forskelle og afslutter med en anbefaling for det videre forløb med analysearbejderne.

## 2 Basis

Som udgangspunkt benyttes erfaring fra etablering af projekteringsgrundlag for Femern sænketunnel tilrettet Kattegat forbindelsen.

Trafikanalyserne for Kattegatforbindelsen er beregnede som gennemsnitlig årsdøgntrafik. Disse analyser er suppleret med erfaring fra Storebælt omkring de største rejsedage, og heraf følgende forøgelse af trafikmængder.

Ventilation af jernbanetunneler er foreskrevet i den tekniske specifikation for interoperabilitet af jernbaner i EU (SRT-TSI).

Iht. NFPA 130-2020 kræves mekanisk ventilation for tunneler længere end 305 m. Langsgående ventilation anbefales.

### 2.1 Femern sænketunnel

Den 18 km lange Femern tunnel udføres som en sænketunnel med to dobbeltsporede vejrør med vigespor og to enkeltsporede jernbanerør.

Både vej- og jernbanerør er forsynet med nødudgange for hver 110 meter.

Vej og jernbanetunnel er forsynet med brandbeskyttelse så struktur kan modstå 1350 °C i tre timer.

Dybste punkt er 38 m lavere end vandspejlet, maximal stigning er under 2%.

Den maksimalt tilladte hastighed for vej tunnel er 110 km/t og for jernbanetunnel 200 km/t.

Ventilationssystemet er langsgående ventilation ved anvendelse af impulsventilatorer i både vej- og jernbanetunnelrørene.

Vejrørene er forsynet med vandtåge anlæg som kan sænke max. brandlast (HRR = Heat Release Rate) af branden fra 200MW til 100MW.

Jernbanerørene er uden vandtåge anlæg og ventilationen skal kunne kontrollere en brand med en HRR på 350 MW.

Under normale omstændigheder er kun 3 tog på samme tid tilladt i et tunnelrør. Max længde af tog er 1050 m.

Prognose for årsdøgn trafik (ÅDT) for Femern se Tabel 1.

Tabel 1: ÅDT Vejtunnel Femern for 2035

Trafik / År	2035
Køretøjer dag	13.052
tung trafik (>3.5 t)	12%

## 2.2 Storebæltsforbindelsen

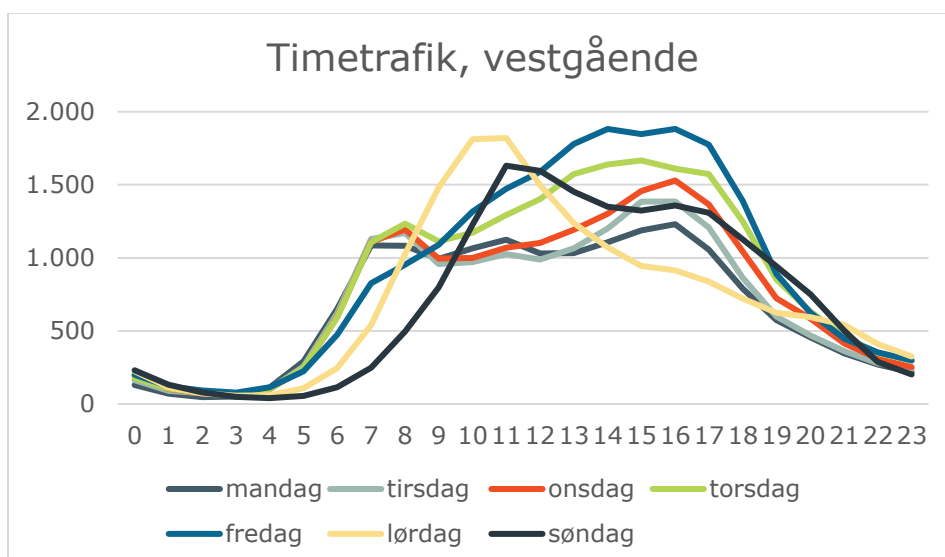
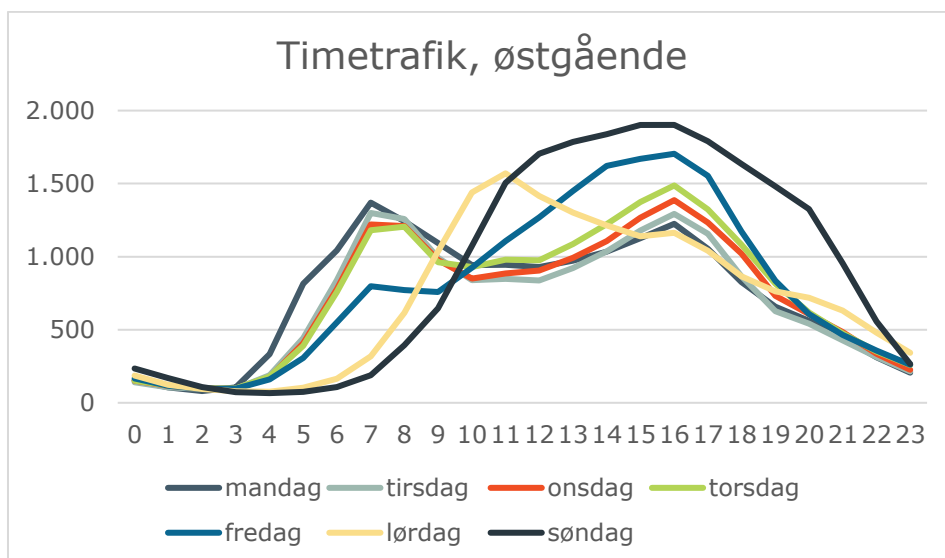
Som grundlag for ventilations beregninger under spidsbelastnings perioder for vejtrafikken på Kattegat forbindelsen er erfaringerne fra forholdene på Storebæltsforbindelsen undersøgt. På Storebæltsforbindelsen opleves forskydninger i trafik imellem retningerne og ligeledes viser trafiktallene tydelige spidsbelastningsperioder. Disse erfaringer forventes anvendt som parametre ved de foreslåede ventilationsberegninger for Kattegatforbindelsen.

Efterfølgende tabel summerer Sund & Bælt's dataudtræk på trafikken på Storebælt i 2019 opdelt på timeinterval og retningsbestemt:

### Retningsopdeling per ugedag, 2019

	Østgående	Vestgående
mandag	52,4%	47,6%
tirsdag	49,8%	50,2%
onsdag	48,9%	51,1%
torsdag	46,8%	53,2%
fredag	46,4%	53,6%
lørdag	49,4%	50,6%
søndag	55,7%	44,3%
alle dage	49,9%	50,1%
ÅDT	36.359	

Data for trafikken over Storebælt per ugedag og time (i gennemsnit for året 2019) er indsamlet, se grafer nedenfor.



Nedenfor anføres de absolutte max. værdier (rekorder) som er registret for Storrebæltetsforbindelsen ligger i størrelsesorden 50-60% over de gennemsnitlige værdier. Vurderinger af hvilken sikkerhedsfaktor der skal anvendes i ventilationsberegningerne skal afklares i næste fase.

Samlet			
Døgnrekord	<b>53.896</b>	18. juli 2020	
Timerekord	<b>5.714</b>	26. december 2018 kl. 11-12	

Vestgående			
Døgnrekord	<b>28.498</b>	7. juni 2019	
Timerekord	<b>2.978</b>	22. april 2016 kl. 10-11	

Østgående			
Døgnrekord	<b>30.536</b>	2. juni 2019	
Timerekord	<b>2.896</b>	24. maj 2020 kl. 16-17	

## 2.3 Kattegat tunnelforbindelser

Der opereres med flere linjeføringer for forbindelsen, både bro og tunnel eller kombinationer af disse. Der ses ligeledes på forbindelser via Samsø (Samsø korridoren) eller direkte mellem Jylland og Sjælland (Sjællandsodde korridoren).

Tunnelløsninger omfatter både borede tunneler og sænketunneler. Der opereres med maksimale tunnellængder mellem 15 og 33 km.

Løsninger omfattende en ren vej-tunnel eller en kombineret vej- og jernbane tunnel skal udarbejdes. Det optimale vertikale profil af tunnelerne vil udover selve linjeføringsprofilen bl.a. afhænge af om der etableres en ren vej-tunnel eller en kombineret vej- og jernbane tunnel. Tilladt stigning for jernbanetunneler i Danmark er angivet i Sporregler, se Tabel 2.

Tabel 2: Tilladt stigning af spor iht. Sporregler (1987)

Type af spor	Længde	Tilladt stigning
Hoved- og togvejs-spor reserveret for passagertrafik:	for delstrækninger ≤ 10 km	2,5%
	for delstrækninger ≤ 6 km	3,5%
Hoved-, togvejsspor og sidespor med blandet gods- og passagertrafik <sup>a</sup>	for delstrækningen Korsør-Sprogø	1,56% <sup>b</sup>
	for delstrækninger ≤ 3 km	1,56%
	for delstrækninger ≤ 0,5 km	2,5% <sup>c</sup>

a) Tilladelse til anvendelse af disse regler kan kun gives af Banedanmarks normansvarlige chef.

b) Værdien er bestemt af den pågældende delstrækningens oprindelige anlæg, og værdien er alene gældende for dette anlæg.

c) For stigning > 2,0 % kun såfremt der ikke findes trafikale krav om, at tog skal kunne standses eller sættes i gang på delstrækningen under normal drift. På strækninger hvor stigningerne overskrider 2% samt tilhørende tilløbsstrækning vil det kunne påvirke placeringen af de faste blokzoner og dermed kapaciteten.

Bro- og tunnelforbindelser er ikke planlagt for godstrafik på jernbane. Tilhørende hældninger er kun medtaget som baggrundsinformation.

For vej-tunneler tillader EU Direktivet af 2004 for vej-tunneler ikke stigninger på over 5% medmindre der ikke geografisk er anden løsning.

Type af ventilationssystem vil afhænge af behov og samspil med andre sikkerhedstiltag så som vandtåge eller sprinkler anlæg. Det vurderes dog overvejende sandsynligt at drifts- og sikkerhedsdokumentation risikoanalyse vil komme frem til at både et vandtåge/sprinkleranlæg og et langsgående ventilationsanlæg baseret på impulsventilatorer vil være påkrævet for vej-tunnelrørene.

Foreløbige trafiktal for Kattegat forbindelsen er vist i Tabel 3

Tabel 3: ÅDT samlet for begge retninger Vejtunnel Kattegat for 2035

Linjeføring	Scenarie	Køretøjer per dag
<b>Samsø korridor</b>	Ren vejforbindelse	23.415 <sup>A</sup>
	Kombineret vej og højhastigheds jernbane	22.890 <sup>A</sup>
	Kombineret vej og opgraderet jernbane	22.995 <sup>A</sup>
<b>Sjællands Odde korridor</b>	Nordlig linjeføring Ren vejforbindelse	19.740
	Nordlig linjeføring Kombineret vej og jernbane	19.425
	Sydlig linjeføring Ren vejforbindelse	19.740
	Sydlig linjeføring Kombineret vej og opgraderet jernbane	19.425

A: I tillæg vil ca. 1.600 køretøjer dagligt kører fra og til Samsø og altså kun benytte den halve linjeføring.

Tung trafik (>3,5 t) forventes at udgøre ca. 12% af trafikmængden (skal verificeres og sammenholdes med trafikken på Storebæltsforbindelsen).

### 3 Ventilation af vej tunnel

Ventilation kræves dels som normal drifts ventilation for at sikre at forureningskoncentrationer ikke overstiger miljøkrav for brugere og driftspersonale, dels i tilfælde af en brand for at sikre evakuering af brugere i røgfrie forhold og at beskytte indsatsveje for redningsarbejder. For vej tunneler består forureningen primært af udstødningsgasser og partikler, samt gummi fra slitage af dæk.

For tunneler opereres normalt med tre hovedtyper af ventilationssystemer, nemlig langsgående ventilation, delvis tværv ventilation og fuld tværv ventilation. Disse hovedtyper har flere forskellige varianter.

- > Langsgående ventilation udnytter selve tunnelrøret som ventilationskanal. Impulsventilatorer fører luften fra indgangsportal til udgangsportal alternativt anvendes ventilationsskakte med store ventilatorer til at indblæse frisk luft til tunnel og til at suge forurenede luft ud. Impuls ventilation kan også kombineres med skakt ventilation. Systemet anvendes normalt til tunneler med ensrettet trafik, hvor det forudsættes at ventilationen kan sikre at tunneldelen opstrøms for branden er røgfri, medens biler, der befinder sig i tunneldelen nedstrøms for branden, kan forsætte ud af tunnelen før at denne del af tunnelen fyldes med røg fra branden. I tilfælde af kø i vej tunnelen startes systemet kun på lav hastighed i den første fase af branden. Dette for ikke at ødelægge det røg lag der naturligt pga. røgens temperatur

samlers sig under tunnelloftet. Derved skabes der mere tid til evakuering fra området tæt ved branden hen til nærmeste nødudgange. Ved en brand i togtunnelrøret vil længdeventilationen i vejttunnelen (nærmest togtunnelrøret) startes på lav hastighed for derved at skabe overtryk i vejttunnelrøret til sikring af at røg ikke spredes via døråbningerne til vejttunnelen.

- > Delvis tværv ventilation (semi-transverse ventilation) kræver plads til en udsugningskanal under tunnelloftet eller i en centralt beliggende kanal mellem vejttunnelrørene. Friskluft suges ind via tunnelrøret fra hver af portalerne. I normalventilations drift anvendes kanalen til udsugning over hele tunnel-længden. I tilfælde af brand anvendes kanalen til udsugning af røg fra den zone (typisk 100-200 meter), hvor branden foregår, hvorved størsteparten af tunnelen holdes røgfri. Impulsventilatorer kan anvendes som supplement til at sikre at røgen holder sig inden for udsugningszonen. Systemet er velegnet til tunneler med dobbeltrettet trafik eller med kø, men er pladskrævende, da der både kræves plads til udsugningskanal og impulsventilatorer. Udsugningen fra den zone hvor branden er opstået styres via fjernstyrede spjæld der vil være installeret i hele tunnelens længde. Disse kan styres i grupper, men medfører ekstra vedligehold.
- > Fuld tværv ventilation (transverse ventilation) ligner delvis tværv ventilation, men er mere pladskrævende, da det kræver både en tilluftskanal og en udsugningskanal separat fra tunnelrøret. Både indblæsning og udsugning foregår via fjernstyrede spjæld i hele tunnelens længde. Disse kan styres i grupper men medfører ekstra vedligehold.

## 4 Ventilation af jernbanetunnel

I modsætning til vejttunneler er jernbanetunneler, der primært er dedikeret til elektriske tog, ikke direkte udsat for særlige forureningsproblemer under normale driftsforhold. Forurening kan forekomme under specifikke vedligeholdelsesarbejder, hvor der anvendes diesellokomotiver. I normal driftstilstand fører stempeleffekten (genereret af togene i tunnelen), til at en stor mængde frisk luft trækkes ind i tunnelen, især i tilfælde af ensrettede tunnelrør. Denne mængde frisk luft er i de fleste tilfælde tilstrækkeligt til at sikre en tilstrækkelig lufthastighed og fornyelse af friskluft tilstrækkelig til at holde lufttemperaturen inde i tunnelen på et acceptabelt niveau. Dog bør der udvises en særlig omhu i tilfælde af lange tunneler. Det forventes at mekanisk ventilation under normale omstændigheder ikke vil være påkrævet, men kun anvendes i tilfælde af unormale driftsforhold, f.eks. stop i tunnel. Det forventes at der kan være mere end et tog i de lange tunnelstrækninger.

Muligheden for at et tog i brand standser i tunnel øges med længden og stigningen af tunnel. Implementeringen af et nødventilationssystem er en vigtig sikkerhedsforanstaltning, som ligeledes kan reducere konsekvenserne af branden. Det vurderes at en længdeventilation af jernbanerørene vil være tilstrækkelig.

## 5 Beskrivelse af forskellige ventilationskoncepter

Da beregninger endnu ikke er gennemført, er nedenstående koncepter beskrevet kvalitativt, baseret på erfaringer.

Udover hvad der er nævnt overfor i kapital 3 og 4 kan følgende tilføjes:

Tværvæntilationssystemer er gode til at sikre røgfrie flugtveje/områder i tunneler med kø, men disse systemer er meget pladskrævende. Ventilationskanalerne må forventes minimum at være 12 m<sup>2</sup> i tværsnit (dvs. min. 12 m<sup>2</sup> kanaltværsnit for delvis tværvæntilationssystemet og min. 2 x 12 m<sup>2</sup> kanaltværsnit for fuld tværvæntilationssystemet), men kan være væsentlig større afhængig af forureningsmængde, tunnellængde og brandstørrelse.

Langsgående ventilation baseret på impulsventilatorer kræver mindre plads i tunneltværsnittet sammenlignet med tværvæntilationssystemer. Langsgående ventilationssystemer er normalt mindre energikrævende, da det udnytter at tunnel delvist vil være selvventilerende grundet stempeleffekten fra trafikken.

Behovet for skakte til det fri afhænger af hvor meget forurening der udledes i tunnelen, samt af den valgte brandstrategi.

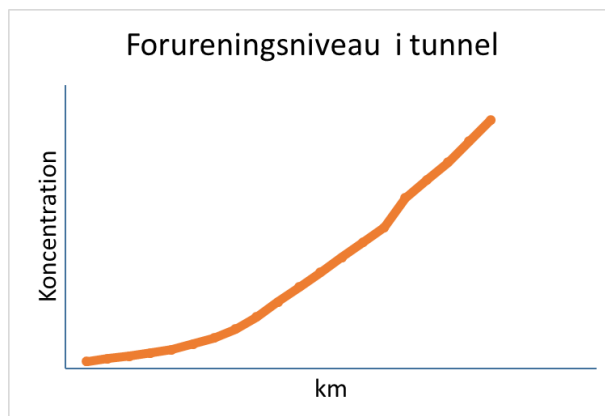
Vandtåge eller sprinkler anlæg kan anvendes sammen med et langsgående ventilationssystem, da ventilationen blot skal holde den ene side af branden røgfri. Da tværvæntilationssystemer er baseret på at holde røg under loft med et røgfrit lag under, vil brug af vandtåge eller sprinkler reducere effektiviteten af ventilationen da røglaget vil blive kølet af dermed brudt.

## 5.1 Normal forureningsventilation

I en vej tunnel med langsgående ventilation hentes friskluft ind via indgangsportalen og transporteres gennem tunnelen og ud via udgangsportalen.

Trafikken vil konstant afgive forurening på turen gennem tunnelen. Koncentrationen af forurening vil derfor stige jævnt gennem tunnel fra ca. 0 til højeste niveau ved udgangsportalen, hvor trafikken forlader tunnelen se Figur 1. Den afgivne forurening kan kun fortyndes af den luft der hentes fra indgangsportalen. Da lufthastigheden i tunnel af sikkerhedshensyn ikke bør være højere end 10m/s, svarer det maksimale luftflow (m<sup>3</sup>/s) til at fortynde forureningen derfor til 10 gange tværsnitsarealet af tunnelen (hastighed x tværsnit = luftflow). Hvis grænseværdierne ikke kan overholdes, kræves der at luftbehovet for fortynding forøges hvilket kræver større tunneltværsnit eller en ventilationsskakt til det fri for udskiftning af tunnelluften.





Figur 1: Illustration af udvikling af forureningsniveau i en tunnel med langsgående ventilation

I en tunnel med et tværv ventilationssystem er forureningsniveauet mere konstant gennem tunnelen.

Tunneler ventileres baseret på målinger af NO, NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>, CO og sigtbarhed grundet partikler i luften.

For år tilbage var tommelfingerreglen at langsgående ventilation kun i få tilfælde kunne anvendes i tunneler længere end 4 km, da forureningen ikke kunne fortyndes tilstrækkeligt i længere tunneler, medmindre trafik tallene var meget lave. Men med stadig højere krav til både motorer og brændstof er denne grænse rykket betragtelig, hvorved en 18 km lang tunnel som Femern kan have langsgående ventilation.

Stigninger inde i en tunnel har stor betydning for belastning af køretøjers motor og derved trafikens afgivelse af forurening.

NO, NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>, udledes typisk fra dieselmotorer, mens CO primært udledes fra benziner. Lastbiler er langt den største bidragsyder. Udviklingen af el-lastbiler er bagefter udviklingen af elbiler, og grundet begrænset rækkevidde forventes iht. artikel i Ingeniøren (2020-07-27) at el-lastbiler primært tænkes anvendt til bytransport og ikke transport på tværs af landsdelene. Partikler stammer dels fra bilernes udstødning dels fra vej- og dækslitage. I dag er det typisk NO, NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>, der i tunneler med lastbiltrafik sætter grænsen for hvor lang en tunnel kan udføres. Jo større andelen af køretøjer drevet af el bliver jo længere rykker grænsen for længden af tunnelen, men sigtbarheden grundet partikler fra bremses, vej- og dækslitage gør at der er en grænse for hvor lang en tunnel kan udføres før der skal etableres yderligere tiltag, f.eks. en skakt til det fri som kan udskifte luften i tunnelen. Denne grænse vil være forskellig for forskellige tunneler afhængig af trafik sammensætning, trafikbelastning, trafikhastighed og stigning af tunnel.

Femern og Kattegat er ikke umiddelbart sammenlignelige, da Femern har et fladere tunnelprofil (stigning på under 2%) mens der for Kattegat arbejdes med tunneler med maksimale stigning på 3-5%. Desuden er trafikmængden for Kattegat væsentlig højere end for Femern.

Det anbefales at der udføres forenkede (1 dimensionale) ventilationsberegninger for relevante tunneltyper og -længder for at kunne bekræfte om længdeventilation vil være en mulighed for det valgte profil med de givne trafiktal og trafik-sammensætning.

Da prognoser for implementering af el-køretøjer er yderst usikre, foreslås det at der beregnes 2-3 forskellige scenarier med andel af el-drevne personbiler f.eks. 0%, 30% og 70% (andel kan besluttes ved start på beregningerne).

Det anbefales også at lave en indledende vurdering af evt. positive konsekvenser af indførelse af nye syntetiske brændstoffer samt brint-drevne lastbiler.

## 6 Sikkerhed

### 6.1 Vejtunnel

Krav fra EU direktivet (EUD) af 2004 er gennemgået i det følgende. Der findes ikke p.t. (august 2020) nogen supplerende Nationale danske krav som skal overholdes i forhold til tunnelsikkerhed.

De sikkerhedsforanstaltninger, der skal træffes i en vejtunnel, skal være baseret på en systematisk overvejelse af alle aspekter af den helhed, der udgøres af infrastrukturen, driften, trafikanterne og køretøjerne.

Der skal tages hensyn til følgende parametre:

- > tunnelens længde,
- > antallet af rør
- > antallet af vognbaner
- > tværsnitsgeometri
- > vertikal og horisontal linjeføring
- > konstruktionens type
- > ensrettet eller dobbeltrettet trafik
- > trafikmængde pr. rør (herunder fordelingen på døgnets timer)
- > risikoen for trafikophobning (daglig eller sæsonbestemt)
- > redningstjenesternes udrykningstid
- > forekomst og procentvis andel af lastvogne
- > forekomst og procentvis andel og type af transport herunder evt. farligt gods
- > tilkørselsvejenes beskaffenhed
- > vognbanernes bredde
- > hastighedshensyn
- > geografisk og meteorologisk miljø

Når en tunnel har særlige træk med hensyn til ovennævnte parametre, skal det ved en risikoanalyse efter EUD, artikel 13, konstateres, om der er behov for yderligere sikkerhedsforanstaltninger og/eller supplerende udstyr for at opnå et højt sikkerhedsniveau for tunneler. Denne risikoanalyse skal tage hensyn til eventuelle ulykker, der klart påvirker trafikanternes sikkerhed i tunneler, og som kan tænkes at indtræffe i driftsfasen, samt arten og omfanget af deres mulige konsekvenser.

Det antages at det for Kattegat forbindelsen vil kunne eftervises ved en senere risikovurdering at transport af farligt gods ville kunne tillades (evt. med restriktioner omkring tidspunktet for transporterne, hastigheder m.v.) for både vej- og jernbanetunnelrørene, såfremt dette måtte blive aktuelt.

Fuld eller delvis tværv ventilationssystemer anvendes i tunneler, hvor et mekanisk ventilationssystem er påkrævet og hvor længdeventilation ikke ved en risikovurdering (jf. EU Direktivet (EUD) artikel 13) kan retfærdiggøres at være tilstrækkelig sikker.

Krav til opfyldelse af EUD genfindes i:

- > De tyske RABT (2006) regler anfører at langsgående ventilation kun er tilladt i tunneller længere en 3 km uden kødannelse, hvis en risikoanalyse viser at et sådant system er tilstrækkelig sikkert.
- > Den Østrigske RVS vejledning 09.02.31 har et tilsvarende krav for tunneler længere end 5 km.
- > Britiske CD352 (2020) har ingen krav til type af ventilationssystem afhængig af tunnel længde.
- > Amerikanske NFPA 502 (2020) tillader både langsgående og tværv ventilationssystemer i tunneler med ensrettet trafik, hvor det er sandsynligst at biler forefindes opstrøms af branden.

Valg af ventilationskoncept afhænger også af øvrige sikkerhedstiltag i tunnellerne:

- > Jo kortere afstand mellem nødudgange desto mindre behov er der for at ventilationen skal kunne kontrollere røgen.
- > Etablering af vandtåge- eller sprinkleranlæg medfører reduceret brandstørrelse og mindsket sandsynlighed for brandspredning mellem køretøjer. Men da vandet vil køle og sandsynligvis bryde det røglag som et tværv ventilationssystem vil holde oppe under loftet, så skal det vurderes at fordelene ved at holde røgen inden for en begrænset zone i tunnel stadig giver en bedre sikkerhed end et langsgående ventilationssystem.

En boret tunnel har mere overskydende frirum over trafikrummet end en sænketunnel og har derfor mindre behov for udvidelse end en sænketunnel hvis der vælges et ventilationskoncept hvor der skal installeres brandisolerede ventilationskanaler.

## 6.2 Jernbanetunnel

SRT-TSI har ikke krav om ventilation.

NFPA 130-2020 kræver mekanisk ventilation for tunneler længere end 305 m.

## 7 Foreløbig vurdering

Forskellene mellem Tunnel løsningerne på Femern og Kattegat forbindelsen kan generelt udtrykkes som følger:

Parameter	Kattegat i forhold til Femern
Længde	Længere
Bundniveau	Dybere
Længdegradient	Stejlere
Anlægsmetode	Boret tunnel eller Sænketunnel mod sænketunnel
Trafikmængde vej	Fordoblet
Trafiksammensætning vej	Antaget uændret, dog er der ikke regnet med eldrevne personbiler i Femern
Trafikmængde jernbane	Antaget uændret
Emission Vej	Antaget kraftigt reduceret for personbiler grundet skift til eldrevne personbiler. Forskellige scenarier for lastbiler undersøges
Trafiksammensætning jernbane	Det antages jf. afsnit 5.1 i ref. 1) at godstog ikke tillades, modsat Femern
Emission Jernbane	Antager alene normaldrift med El. Diesel i tilfælde af vedligehold eller nedbrud.

Ref. 1) Indledende Linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse delrapport, 28 Feb. 2020. Doc nr. A126115-002

### 7.1 Jernbanetunnel

Jernbanen på Kattegatforbindelsen undersøges - modsat Femernforbindelsen - p.t. alene for passagertog.

#### 7.1.1 Normal drift situation

Der vurderes ikke at være nogen væsentligt nye udfordringer i normal driftssituationen for jernbane i forhold til Femern løsningen.

#### 7.1.2 Ikke-normal drifts situation

Tunnelernes længde på 15 – 35 km gør at der ved et nedbrud kan være flere tog som er opstuvet bag det nedbrudte tog og redning/rydning tager derfor længere tid.

### 7.1.3 Nødsituation

Den maksimale brand der skal håndteres, er uafhængig af tunnellængden.

Umiddelbart betyder den længere tunnel længde at der er større risiko for at der samtidig er flere tog i tunnelen, hvilket vil kunne betyde at der skal lægges restriktioner på jernbanedriften.

## 7.2 Vejtunnel

Vejtunnel løsningerne på Kattegat forbindelsen adskiller sig primært i driftsteknisk forstand fra Femern ved at de er længere (op til +50%) og der er noget større trafikmængder (ÅDT +100%).

Til gengæld er der sket en væsentlig udvikling i forventninger i emissionsniveauer, så behovet for friskluft pr. personbil vurderes som kraftigt reduceret hvad angår dette kriterium. Partikel emission fra dækslid kan dog vise sig at være dimensionsgivende.

### 7.2.1 Normal drift situation

Kombinationen af øget længde, kraftigt øget trafik og ændrede emissioner gør at der kan blive problemer med luftkvaliteten i vejrørene. Umiddelbart forventes tunge køretøjer at være langt de største bidragsydere.

Det kan medføre at der skal laves mitigerende tiltag i form af luftudskiftning på evt. kun på delstrækninger



Figur 2 Plan af tunnel (skematisk). Eksempel på at der kan lave tilførsel af friskluft fra det nedadgående tunnelrør (meget lille forurening) over i det opadgående tunnelrør (hvor motorene forurener maksimalt)

Behovet for en sådan udskiftning kræver yderligere analyse og sammenligning mellem forskellige løsningsforslag. Det anbefales vurderet i den igangværende forprojektphase.

### 7.2.2 Ikke-normal drift situation

Ved nedbrud af køretøjer i tunnelen (punkteringer, manglende benzin, mindre uheld o.lign.) eller tabt gods stiller det større krav til forbindelsens rednings-team, evt. med flere hold der permanent runderer. Det forventes at der skal etableres 6-8 stk. FLRT-vogne (First Level Response Team - bemanded og kørende 24-7-365) der udstyres med diverse afspærringsmateriel og redningsudstyr herunder håndildslukkere. Dette er 50% mere end hvad Femern forventer at have kørende. Ved et sådant tiltag kan responstiden nedsættes væsentligt i forhold at have indsats team ventende i kontrolcenteret på tilkald og udrykning.

For at opnå en yderligere driftssikkerhed for at kunne opretholde trafik mellem Sjælland og Fyn/Jylland forventes det at Kattegat forbindelsen undersøges for muligheden for at håndtere en omdirigering af Storebæltstrafikken ved større hændelser på denne forbindelse. Kattegatforbindelsen forventes således undersøgt for max. trafikmængde evt. med nedsat hastighed for at vurdere konsekvensen for normal-driftsventilationen.

### 7.2.3 Nødsituation

Den maksimale brand der skal håndteres, er uafhængig af tunnellængden.

Umiddelbart betyder den længere tunnel længde at redning har længere responstid. Femern opererer med at service personalet som typisk operere i tunnelen også kan assistere ved mindre nedbrud og brandslukning.

## 8 Anbefaling

Det anbefales at de mest sandsynlige linjeføringer udpeges og at der for disse:

- 1 defineres hvilke parametre der skal indgå i de videre analyser / beregninger.
- 2 at der iværksættes forenklede ventilationsberegninger for disse tunnelalternativer og parametre for at afklare om længdeventilation vil være mulig uden etablering af skakte til det fri.

I næste projektfase bør der på baggrund af krav i EU-direktivet af 2004, udarbejdes en risikoanalyse for projektet for at afklare om langsgående ventilation baseret på impulsventilatorer giver tilstrækkelig sikkerhed. Ligeledes vil den kommende risikoanalyse afklare hvorledes sikkerheden vil blive influeret af indførelse af el-drevne personbiler (hvor brandslukning erfaringsmæssigt kan være kompliceret) og brint-drevne lastbiler (hvor der kan være forhøjet risiko for lækage / eksplosion). Det vurderes dog uden for scopet af denne indledende gennemgang af ventilation og sikkerhed.