

SUND & BÆLT HOLDING A/S

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens LyngbyKATTEGATFORBINDELSE - KYST-KYST
ANLÆGSTEKNISKE FORUNDERSØGELSER

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

ANALYSE AF VENTILATIONSBEHOV FOR AT SIKRE LUFTKVALITET I TUNNEL

FAGNOTAT

INDHOLD

1	Indledning / Formål	2
2	Konklusion / Anbefaling	2
3	Basis	3
3.1	Korridorer / Linjeføringer	3
3.2	Tunnel tværsnitsprofiler	6
3.3	Ventilation	7
3.4	Ventilationsprogram	8
3.5	Udledning	9
3.6	Grænseværdier	10
3.7	Trafik	14
4	Mulige beregningskombinationer	20
5	Resultater	20
6	Diskussion af resultater	20
6.1	Frasortering af beregningskombinationer	21
6.2	Observationer	21
7	Referencer	24

PROJEKTNR.

A134385

DOKUMENTNR.

A134385-GT-NOT-002

VERSION

1.4

UDGIVELSESDATO

22. december 2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

LWRA, BHA

KONTROLLERET

BHA, TOOL

GODKENDT

PTR, SSO

1 Indledning / Formål

Som en del af den anlægstekniske forundersøgelse af en fast forbindelse på tværs af Kattegat, beskriver dette notat analyser af behovet for ventilation til sikring af luftkvaliteten i vejttunneldelen. Analysen er gennemført for fire udvalgte linjeføringer.

Formålet med analysen er at undersøge om langsgående ventilation af tunnel kan udføres udelukkende med friskluftsindtag /-afkast via tunnelportaler eller om der er behov for yderligere luftudskiftning undervejs. Et sådant behov kunne medføre, at der skal etableres mulighed for udskiftning af luften i tunnelen ved en eller flere luftudskiftningspunkter i tunnel. Disse kan f.eks. være forbundet direkte til det fri via skakt til en kunstig ø eller til portaler via store ventilationskanaler trukket i tunnel.

2 Konklusion / anbefaling

Nogle relativt konservative scenarier er blevet analyseret (scenarie 2, 3 og 4). Disse inkluderer ingen grønne (miljøvenlige) køretøjer, men udelukkende en relativ stor andel af køretøjer der kun opfylder ældre EURO normer (op til 20% EURO 5), ekstraordinær myldretidstrafik svarende til tunnelens maksimale trafikkapacitet og en større andel af dieselskøretøjer end der forventes i 2035.

Desuden er der analyseret et yderliggående scenarie (scenarie 5) hvor andelen af lastbiler er væsentlig større end forventeligt (20% i stedet for 12%) og en større andel ældre køretøjer - 10% EURO 5 og 20% endnu ældre, hvor det reelt må forventes at andelen af køretøjer ældre end EURO 6 i 2035 vil være tæt på nul.

Desuden er nogle mere pragmatiske scenarier analyseret:

- > Scenarie 1, normal (daglig / ikke fuld trafikkapacitet) myldretidstrafik og alle køretøjer EURO 6
- > Scenarie 6 og 7 med ekstraordinær myldretidstrafik svarende til tunnelens maksimale trafikkapacitet og hhv. 15 og 25% eldrevne køretøjer.

For alle scenarier på nær det mest yderliggående (scenarie 5) kan grænseværdierne for luftkvalitet (CO, NO_x og sigtbarhed) overholdes forudsat at der installeres og anvendes et intelligent trafikstyringssystem (ITS), som kan sikre at langsom køkørsel kun kan forekomme på mindre del-strækninger af tunnelen. Installation af et ITS-system er forudsat i sikkerhedskoncept [6].

For det yderliggående scenarie (scenarie 5), som inkluderer dels en meget høj andel af lastbiler dels at en stor del af køretøjerne kun opfylder EURO 5 og ældre emissionsstandards, kan grænseværdier ikke overholdes. Det vurderes, at dette scenarie er yderst konservativt og næppe realistisk i forhold til de forventede emissionsniveauer ved en Kattegat forbindelses åbning.

Kapacitetsmæssigt kritiske scenarier kan opstå på Kattegatforbindelsen f.eks. ved flere dages lukning af Storebæltsforbindelsen. I sådanne tilfælde må det

forventes at trafik mellem Sjælland og Tyskland vil køre via Femern tunnelen, mens trafik mellem Sjælland og Jylland vil køre via Kattegat. Det antages at en væsentlig del af lastbiltrafikken vil køre via Femern. Dette skal dog bekræftes af fremtidige trafikstudier.

Konklusionen er, at alle de fire undersøgte linjeføringer kan udføres med længdeventilation uden behov for supplerende luftudskiftningspunkter i selve tunnelen ved f.eks. etablering af kunstige øer for ventilation. De fire linjeføringer vurderes ventilationsmæssigt repræsentative for alle de linjeføringer der p.t. undersøges i forundersøgelsen.

Baseret på analyserne i dette notat er projektrisikoen [18] for frisklufts ventilation skønsmæssigt vurderet til forventet, men graderet efter længde, se kapitel 6.2.4.

Selvom der er en tydelig sammenhæng mellem forureningsniveau og tunnel-længde (se Figur 3-9), så medfører de 3,1 km forskel mellem KKØ-2.1 og KKØ-3.1 eller de 1,7 km forskel mellem KKV-3.3 og KKØ-4.2 ingen signifikante forskelle i overholdelse af grænseværdier.

Analysen har fokuseret på validering af de udviklede linjeføringer. Der er således ikke analyseret løsninger længere end 19,9 km for sænketunnel og 24,9 km for boret tunnel (ekskl. Cut & Cover). Dette kan derfor ikke tages som et udtryk for, at linjeføringer med længere tunneler ikke vil kunne ventileres uden etablering af supplerende luftudskiftningspunkter. Om dette skulle blive relevant, skal dette dog verificeres ved supplerende analyser.

3 Basis

3.1 Korridorer / Linjeføringer

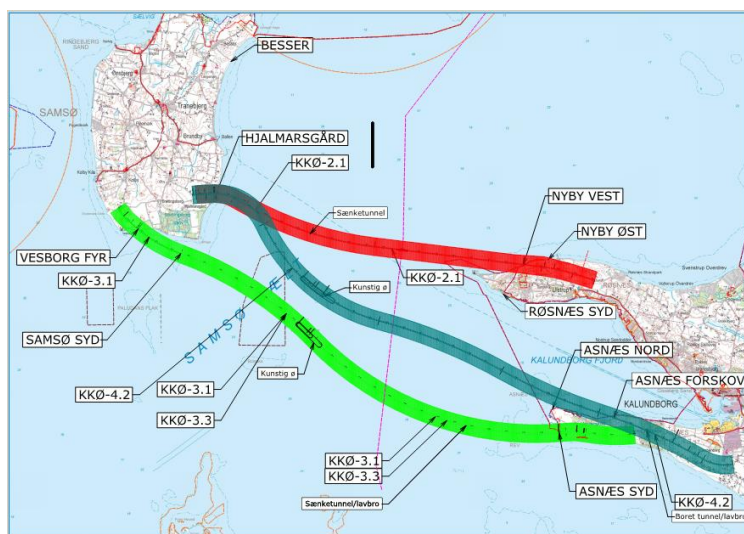
I den anlægstekniske forundersøgelse undersøges et større antal korridorer / linjeføringer for en fast forbindelse. Der undersøges korridorer mellem Sjælland og Samsø og mellem Samsø og Jylland.¹ I de enkelte korridorer findes anlægstekniske løsninger baseret på bro og tunnel eller kombinationer af bro og tunnel med en kunstig ø i midten.

Tunnelløsninger omfatter både borede tunneler og sænketunneler, som i relation til ventilation for luftkvalitet adskiller sig ved tunnellængde og tværsnitsareal. Der undersøges tunnellængder på mellem 12 og 26 km.

Ud af de undersøgte korridorer er der udvalgt fire linjeføringer, som er vurderet repræsentative for det samlede løsningsrum, da de repræsenterer forskellige tunneltyper, længder og hældninger.

¹ På baggrund af Sund & Bælts fravalg af Odden-Djursland og Odden-Aarhus korridorerne medio 2020 undersøges disse ikke nærmere ud fra et ventilationsperspektiv.

Længdeprofilerne er simplificerede og viser de overordnede hældninger på delstrækninger. Dette er tilstrækkeligt til at gennemføre den nærværende analyse, men skal ikke betragtes som et reelt længdeprofil.



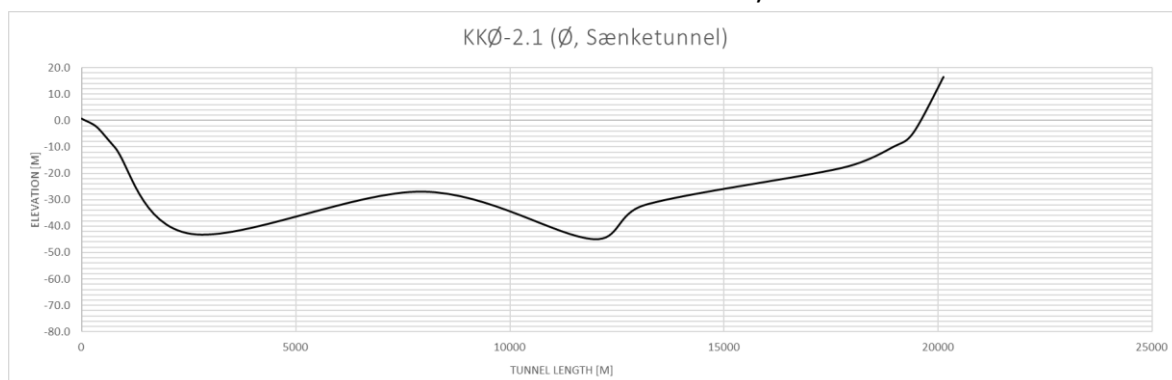
Figur 3-1: Oversigt linjeføringerne KKØ-2.1, KKØ-3.1 og KKØ-4.2



Figur 3-2: Oversigt linjeføring KKV-3.3

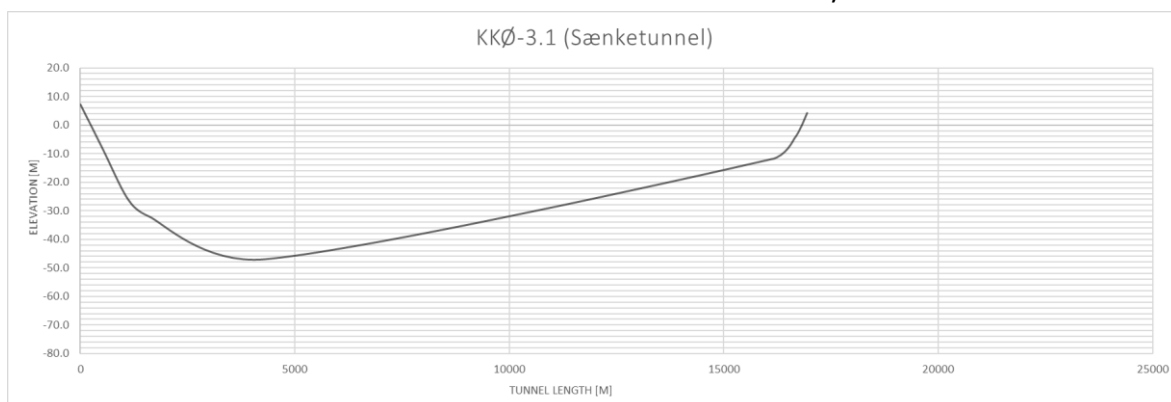
Længdeprofiler af linjeføringerne vist i det følgende:

3.1.1 KKØ-2.1 Sænketunnel – 19,9 km



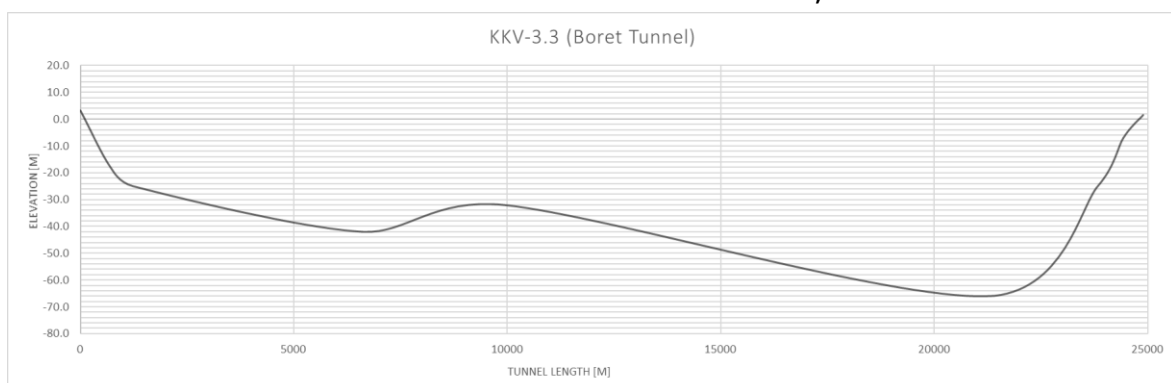
Figur 3-3: KKØ-2.1: Nyby Vest- Hjalmsgård, vist fra vest til øst

3.1.2 KKØ-3.1 Sænketunnel – 16,8 km



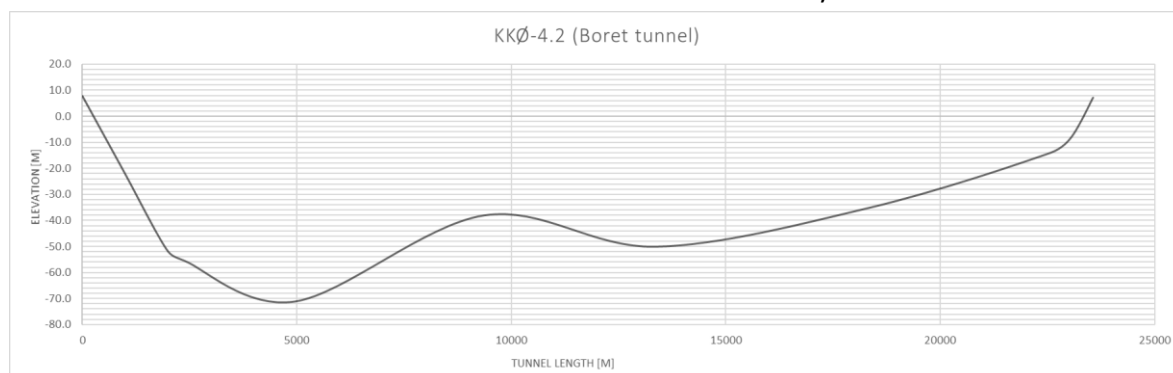
Figur 3-4: KKØ-3.1 (Asnæs Syd – Kunstig Ø, Sænketunnel), vist fra vest til øst

3.1.3 KKV-3.3 Boret tunnel – 24,9 km



Figur 3-5: KKV-3.3 (Kolby Kås – Søby, Boret Tunnel), vist fra vest til øst

3.1.4 KKØ-4.2 Boret tunnel – 23,2 km

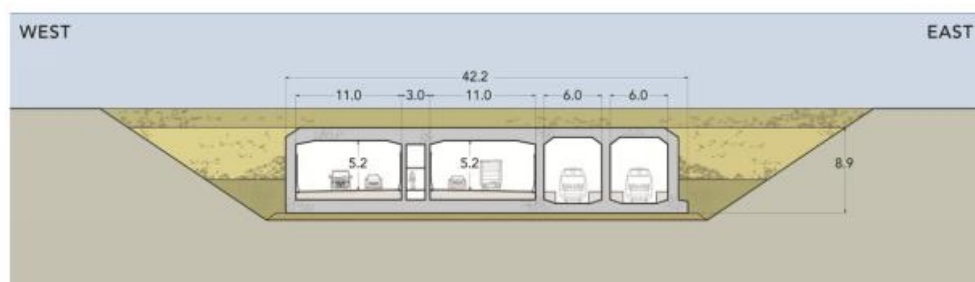


Figur 3-6: KKØ-4.2 (Asnæs Forskov – Kunstig Ø, Boret tunnel), vist fra vest til øst

3.2 Tunnel tværsnitsprofiler

Den tunneltekniske forundersøgelse af Kattegatforbindelsen er kommet frem til, at de udviklede tunneltværsnit i forbindelse med forstudier af Femern forbindelsen, rapporteret i 2011 [1], også kan anvendes som grundlag for forundersøgelsen af Kattegatforbindelsen.

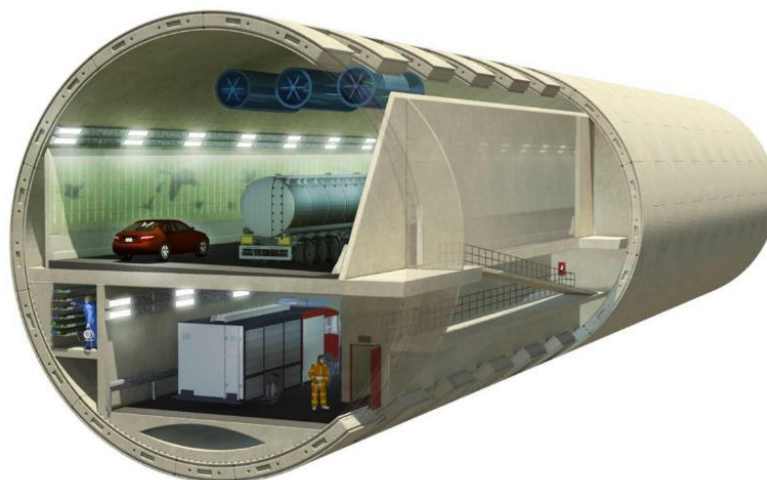
3.2.1 Sænketunnel



Figur 3-7: Tunnelprofil sænketunnel

- > Areal af vejttunnelrør ~56,8 m²
- > Omkreds af vejttunnelrør ~31,4 m

3.2.2 Boret tunnel



Figur 3-8: Tunnelprofil boret tunnel Femern [1]

Indvendig diameter af rør 14,2 m, bredde af vej 11 m.

- > Areal af vej-tunnelrør $\sim 76,5 \text{ m}^2$
- > Omkreds af vej-tunnelrør $\sim 33,5 \text{ m}$

3.3 Ventilation

3.3.1 Normal forureningsventilation

I en vej-tunnel med langsgående ventilation hentes friskluften ind via indgangs-portalen og transporteres gennem tunnelen, hvor den opblandes med udstød-ningsgasserne og opblandingen blæses ud af tunnel via udgangsportalen. Til, om nødvendigt, at supplere luftstrømmen genereret af trafikken (stempeleffekten) anvendes impulsventilatorer monteret mod tunnelloftet. Luften i tunnelen skal overholde grænseværdier for både forureningskoncentrationer og sigtbarhed.

Trafikken afgiver forurening på turen gennem tunnelen, dog i forskellige mæng-der afhængig af hældningen det givne sted. Koncentrationen af forurening stiger derfor stort set jævnt gennem tunnel fra nul ved indgangsportalen til højeste ni-veau ved udgangsportalen, se Figur 3-9. Den afgivne forurening kan kun fortyn-des af den luft der hentes ind via indgangsportalen.

Hvis grænseværdierne for luftkvaliteten ikke kan overholdes, kræves derfor en-ten:

- > Øget tunneltværsnit for at fortynde forureningen yderligere, da maksimal lufthastighed i tunnel 10 (12) m/s ikke bør overskrides (se nedenfor).

eller alternativt:

- > Etablering af en ventilationsskakt til det fri for at udskifte tunnelluften et sted i tunnelforløbet. Dvs. ved etablering af enten

- > en skakt til en kunstig ø eller
- > store ventilationskanaler i tunneltværsnittet gennem hele tunnel til portaler, hvori lufthastigheden kan overstige grænsen for lufthastigheden i trafikrøret.

Stempeleffekten fra trafikken i en vejttunnel vil generere en langsgående luftstrøm fra indgangs- til udgangsportal afhængig af trafikhastighed og trafiktæthed. Denne af trafikken naturligt genererede luftstrøm vil ofte være tilstrækkelig til at fortynde forureningen i tunnelen til under grænseværdierne. Barometriske forskelle og ydre vind ved portaler vil ligeledes påvirke størrelsen af denne luftstrøm.

I tunneler med langsgående ventilation kan luftstrømmen øges ved at starte et antal impulsventilatorer.

PIARC [11] anbefaler af sikkerhedshensyn, at lufthastighed i en tunnel ikke overstiger 10 m/s (til 12 m/s)², da svagelige kan have svært ved at stå fast ved højere lufthastigheder. Dette vil være tilfældet ved en ulykke i tunnelen, hvor personer forlader deres køretøjer. I denne analyse accepteres generelt maksimalt 10 m/s, dog accepteres hastigheder op til 12 m/s ved trafikhastighed over 100 km/t.

Formålet med denne analyse er at undersøge forureningskoncentrationer og ikke at dimensionerer ventilationssystemet. Derfor:

- > Tages der ikke hensyn til vind og barometriske forskelle, selvom disse også påvirker ventilationen af tunnelen.
- > Anvendes teoretiske ventilatorer uden hensyntagen til pladskrav og reel installationsvirkningsgrad etc. Antal og størrelse af aktiverede ventilatorer angives derfor ikke - I praksis vil der grundet tunnelernes længde ikke være problemer med at få plads til tilstrækkeligt med ventilatorer.
- > Der aktiveres et vilkårligt antal ventilatorer, når forureningsniveau er for højt. Antal aktiverede ventilatorer justeres kun hvis forureningsniveau stadig er for højt eller lufthastighed i tunnelen overstiger 10 m/s (til 12 m/s).

3.4 Ventilationsprogram

De forskellige linjeføringer for Kattegattunnel er modelleret ved hjælp af IDA-Tunnel, softwareversion 1.201, udviklet af EQUA.

IDA Tunnel er et endimensionelt softwareprogram for netværksanalyse, som anvendes til dimensionering af ventilation til såvel normalsituationen som til brand-situationen. Baseret på en endimensionel model af tunnelgeometri, trafik og ventilationssystem udregnes aerodynamiske og termodynamiske ligninger, hvorved lufthastighed, lufttryk, temperatur, forureningsniveauer osv. bestemmes. I

² Stempeleffekten kan ved høje trafikhastigheder og store trafikmængder kan generere lufthastigheder, der overstiger 10 m/s.

de følgende afsnit præsenteres det anvendte grundlag for beregninger og resultaterne af analyserne udført med IDA-Tunnel.

3.5 Udledning

I analyserne er det antaget, at luften fra indgangsportalen er 100% ren, baseret på at portalerne befinder sig i landligt område. Det skal bemærkes, at indkørselsportalen for tunnelrøret i den ene trafikretning skal placeres i tilstrækkelig afstand fra udkørselsportalen³ i den anden trafikretning for at recirkulering af forurening fra det ene rør til det andet undgås – nødvendig afstand afhænger af lokale forhold ved portalerne, men er typisk 20 til 40 m.

Udledning af CO, NO_x og partikler (partikler anvendes til beregning af sigtbarhed) er baseret på tabeller fra *Road tunnels: Vehicle emissions and air demand for ventilation*. PIARC 2019. Tabellerne angiver udledninger for hastigheder mellem 0 og 130 km/t og tunnelhældninger mellem -6° og +6° for køretøjer, som overholder EURO normerne fra pre-EURO til og med EURO 6. Tabeller over "ikke-udstødningsrørspartikler" altså partikler fra bremsen og dæk er medtaget.

PIARCs data gælder for generaliserede normalkøretøjer. Data for personbiler er således ens uanset størrelse eller fabrikat. Tilsvarende gælder for lastbiler; her er data givet for en gennemsnits lastbil, der repræsenterer en kombination af lette, almindelige og sættevogns lastbiler samt busser med en reference vægt på 23 tons - Det er muligt at give en korrektionsfaktor for vægte for køretøjer mellem 15 og 32 tons. Da der dog ikke foreligger data omkring fordelingen på forskellige lastbiltyper, er det i denne analyse valgt at anvende data for en 23 ton lastbil for alle typer lastbiler og busser.

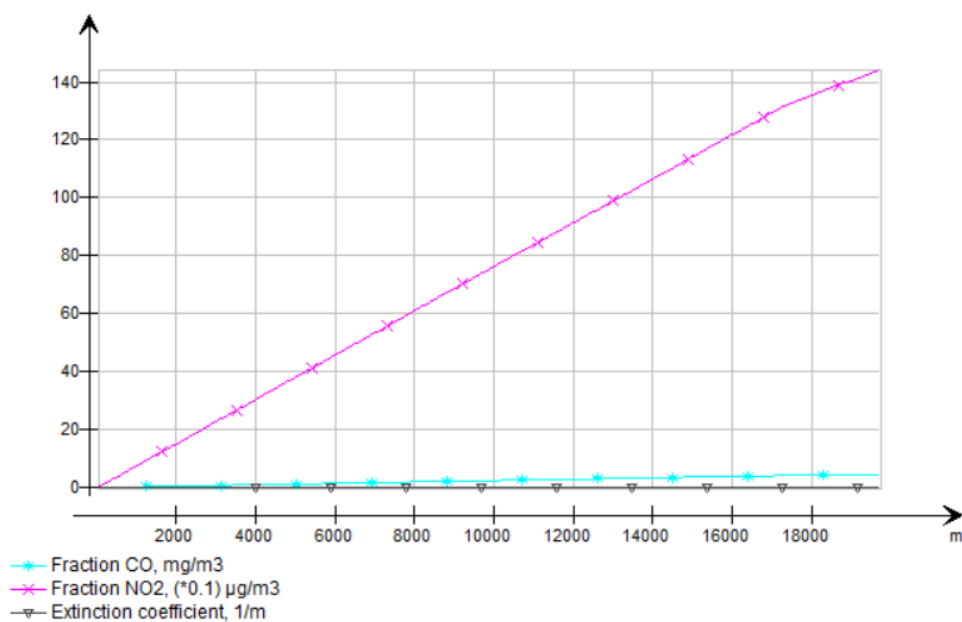
Køretøjer burde logisk set forventes at have lavest udledning af forurening, når motoren er mindst belastet. Dvs. mindre udledning ved lave hastigheder end ved høje og mindre udledning ned ad bakke end op ad. Men ved gennemgang af basisdata fra PIARC 2019 for lastbiler for EURO6, bemærker COWI, at NO_x-udledninger er større for kørsel nedad- end opadbakke. Forelagt dette er PIARCs tilbagemelding, at EURO 6 lastbiler er udstyret med et SCR⁴-system til at fjerne NO_x, men at systemet kræver en vis driftstemperatur for at virke, og det derfor kan slå fra ved kørsel nedadbakke, hvorved udstødningsgasserne ikke renses for NO_x. Se også Bilag B. Dette virker som en rimelig forklaring. Men i tilfælde af, at PIARC 2019 data ikke giver en tilstrækkelig god repræsentation af aktuelle forhold, er der i vedlagte Bilag C, foretaget en genberegning af to scenarier baseret på data givet i PIARC 2012, (tidligere version af PIARC 2019). Der er tydelige forskelle på resultaterne afhængig af om beregninger baseres på PIARC 2019 eller 2012. En forskel er forventelig, da der er sket en udvikling i teknologi såvel som viden om reelle udledninger for de forskellige EURO normer mellem 2012 og 2019. Forskellene i resultater ændrer dog ikke på de overordnede konklusioner for denne analyse.

³ Der findes forskellige muligheder med at placere portaler forskudt eller have anden fysisk separering mellem portaler for at undgå/begrænse recirkulering af forurening mellem portaler, men dette bliver ikke behandlet i dette notat.

⁴ SCR (Selective catalytic reduction) omdanner NO_x til NO₂ og H₂O (vand).

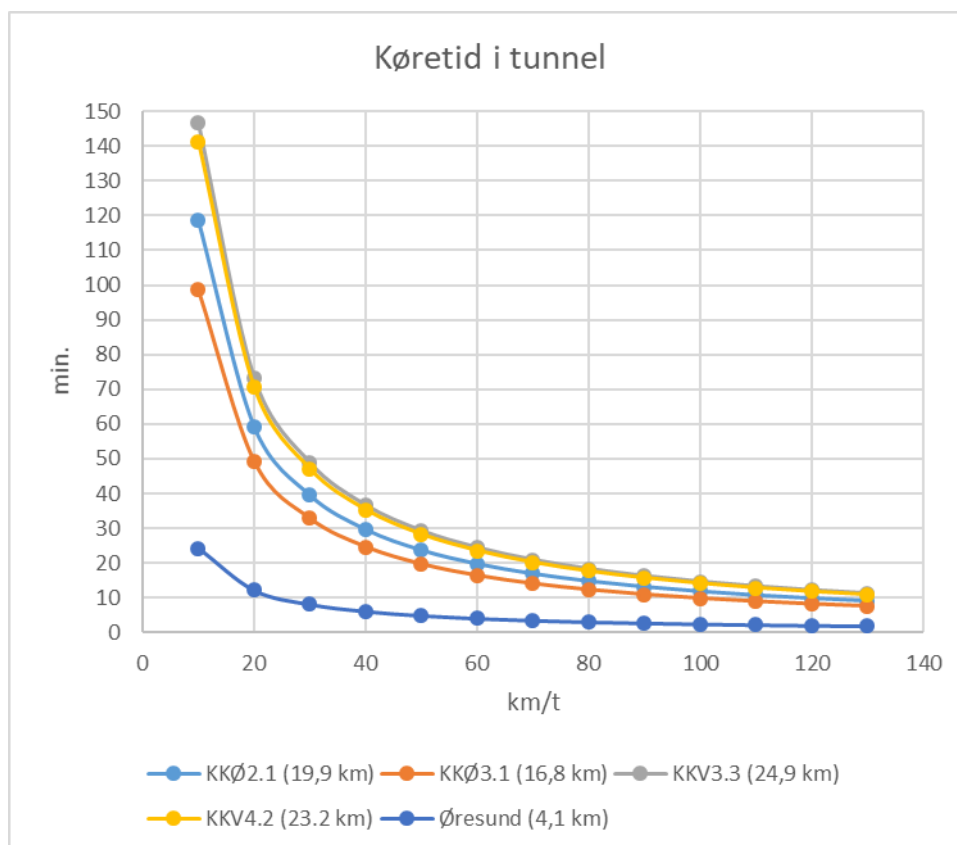
3.6 Grænseværdier

Grænseværdier er baseret på anbefalinger givet af PIARC [2]. Det skal bemærkes at forureningsniveau i en tunnel stiger næsten lineært fra nul ved indkørsel til maksimal værdi ved udkørsel, selvom der er forskel på udledninger op- og nedadbakke. Se Figur 3-9



Figur 3-9: Eksempel på udvikling i koncentration af CO og NO₂ i tunnel fra indkørsel til udkørsel i tunnel

Desto længere en tunnel er desto længere tid vil brugerne være eksponeret for forurening. Figur 3-10 viser køretid i minutter for de linjeføringer, der i denne rapport analyseres for Kattegat sammenlignet med linjeføringen for Øresund.



Figur 3-10: Køretid i tunnel i minutter ved forskellige hastigheder

PIARC har valgt at angive grænseværdier som maksimalt tilladelige niveauer i tunnel, men giver også eksempler på hvordan grænseværdier er angivet i enkelte lande. Arbejdstilsynet og WHO angiver typisk grænseværdier som vægtet over en tidsperiode, f.eks. 15 minutter, 8 timer eller 1 år.

Det acceptable forureningsniveau for en tunnelbruger afhænger derfor af, om brugeren benytter tunnelforbindelsen et par gange om året eller om vedkomne pendler en eller flere gange ugentligt eller dagligt. Det sidste kunne være lokalbusser eller lokale fragtvogne.

Det er i analysen generelt valgt at følge PIARCs anbefalinger, men når endelig linjeføring er valgt, bør grænseværdier fastsættes baseret på analyser af køremønstre for forskellige brugere. Det skal bemærkes, at opholdstid og acceptabelt forureningsniveau kan sikres ved en kombination af trafikstyring og ventilation.

3.6.1 CO

PIARC [2] angiver følgende værdier for CO:

Tabel 3-1: Grænseværdier for CO [2]

Trafiksituation	CO
	ppm
Flydende myldretidstrafik 50 –100 km/t	
Design værdi	70
Drift værdi	90
Daglig kø-kørsel, Stilstand på alle vejbaner	70
Usædvanlig kø-kørsel Stilstand på alle vejbaner	90
Planlagt vedligeholdsarbejde Arbejde i tunnel med trafik**	20
Lukning af tunnel*	200

* Grænseværdi er alene for drift ikke for dimensionering af ventilationssystem

** Nationale arbejdstilsynsregler skal overholdes

Et CO indhold på 90 ppm svarer til WHO anbefaling for korttidseksponering (15 minutter).

Det bemærkes at PIARC kun angiver grænseværdier op til 100 km/t. Ved højere hastighed er opholdstid i tunnel og dermed eksponeringstid kortere.

Iht. arbejdstilsynet [16] er den tidsvægtede grænseværdi over 8 timer 25 ppm ($29.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) – Den tidsvægtede grænseværdi over 15 minutter er 50 ppm ($58.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

70 ppm benyttes i denne analyse som højst tilladelige grænseværdi for CO målt nogetsteds i tunnelen. Dette gælder både ved hastigheder over og under 100 km/t.

3.6.2 Sigtbarhed

PIARC [2] angiver følgende værdier for sigt (lyssvækkelseskoefficient):

Tabel 3-2: Grænseværdier for sigt/lyssvækkelseskoefficient [2]

Trafiksituation	Sigtbarhed / lyssvækkelseskoefficient.
	m^{-1}
Flydende myldretidstrafik 50 –100 km/t	
Design værdi	0,005
Drift værdi	0,003-0,007
Daglig kø-kørsel, Stilstand på alle vejbaner	0,007
Usædvanlig kø-kørsel Stilstand på alle vejbaner	0,009
Planlagt vedligeholdelsesarbejde Arbejde i tunnel med trafik**	0,003
Lukning af tunnel*	0,012

* Grænse værdi er alene for drift ikke for dimensionering af ventilationssystem

** Nationale arbejdstilsynsregler skal overholdes

Med hensyn til sigtbarhed kan det argumenteres, at der skal opereres med lavere lyssvækkelses koefficienter ved hastigheder over 100 km/t, da bremselængden stiger med øget trafikhastighed.

Nedenfor er sigtlængde angivet for forskellige lyssvækkelses koefficienter baseret på formel givet i PIARC [2]. Det er forudsat at forholdet for lysintensitet ved modtager er 20% af intensiteten fra lyskilden.

Tabel 3-3: Sigtlængde for forskellige lyssvækkelses koefficienter

Lyssvækkelses-koefficient	Sigt Længde
m^{-1}	m
0.003	536
0.004	402
0.005	322
0.006	268
0.007	230

Standselængden (bremselængde inklusiv reaktionstid) for lige landevej med våd vejbane er ifølge Danske vejregler [13] som angivet i tabel nedenfor. I en tunnel vil der ikke optræde våde vejbaner, og dårligst sigtbarhed vil eventuelt forekomme i udgang af tunnel, hvor hældning vil være opadbakke. Begge dele vil medvirke til kortere bremselængde.

Tabel 3-4: Bremselængde inklusiv reaktionstid

Hastighed	Reel standselængde
km/t	m
80	115
90	135
100	160
110	190
130	250

Af Tabel 3-4 ses, at standselængden ved 130 km/t er 250 m. Da sigtlængden ved en lyssvækkelses koefficient på $0,005 m^{-1}$ er 322 m (se Tabel 3-4), bør denne grænseværdi også være tilstrækkelig for hastigheder på 130 km/t.

Baseret på ovenstående er det i analysen valgt at anvende følgende lyssvækkelses koefficienter som grænseværdier for sigtbarhed:

- > 0,005 for 30-130 km/t
- > 0,007 for 0-20 km/t

3.6.3 NO₂

NO₂ andelen af NO_x antages at være 25% baseret på anbefaling i PIARC 2019.

Der er internationalt forskelle på grænseværdien for NO₂ og også på hvor/hvordan denne måles.

PIARC [2] angiver bl.a. følgende:

- > Der er ikke konsensus om helbredspåvirkning af NO₂, hvorfor mange lande ikke angiver en grænseværdi for NO₂ i tunneler.
- > PIARC har i 2007 anbefalet 1,0 ppm som gennemsnitsværdi for hele tunnelen
- > NIOSH (Nord Amerika) angiver 1,0 ppm målt over 15 minutter
- > Frankrig angiver 0,4 ppm, som gennemsnit målt over hele turen gennem tunnelen
- > NSW Australien angiver 0,5 ppm som gennemsnit målt over hele turen gennem tunnelen

I Norge [4] anvendes 1,5 ppm som maksimal grænseværdi målt hvor som helst i tunnelen. Samtidigt kræves at hvis koncentration midt i tunnelen overstiger 0,75 ppm i mere end 15 minutter, så skal tunnelen lukkes. Værdien er baseret på en antaget NO₂ andel af NO_x på 15%.

Iht. arbejdstilsynet [16] er den tidsvægtede grænseværdi over 8 timer 2 ppm (4.000 µg/m³) – Den tidsvægtede grænseværdi over 15 minutter er ligeledes 2 ppm.

I denne analyse benyttes 1,0 ppm som grænseværdi for NO₂ målt som maksimal værdi nogetsteds i tunnelen.

3.7 Trafik

Iht. [6] forventes den gennemsnitlige årsdøgntrafik (ÅDT) at være ca. 25.000 køretøjer totalt, dvs. ca. 12.500 i hver retning.

Tung trafik (>3,5 t) forventes at udgøre ca. 12% af trafikmængden [6].

Som en tommelfingerregel kan myldretidstrafik ifølge [2] antage at udgøre 10% af ÅDT, dvs. 1.250 køretøjer pr. retning pr. time. Antages dette at ske ved en trafikhastighed på 130 km/t og med 12% andel af lastbiler svarer dette til 1400 pcu (personbils enheder)⁵ per retning. Dette giver følgende fordeling af køretøjer ved forskellige trafikhastighed:

⁵ pcu står for "passenger car unit", altså personbils enhed. En lastbil fylder 2 pcu ved høj hastighed og 3 pcu ved lav hastighed

Tabel 3-5: Fordeling af person og lastbiler ved 12% lastbiler og ÅDT 1.818 køretøjer per retning pr. maksimal time (1400 pcu)

Hastighed [km/t]	Personbil [stk/time]	Lastbil [stk/time]
0	(213)*	(29)*
10	863	118
20	1.043	142
60	1.157	158
110	1.122	153
130	1.100	150

*[stk/km]

Rekorden for Storebælt er 2.978 og 2.896 køretøjer pr. time for hhv. vestgående og østgående trafik.

Ifølge artikel i Finans [8] udgjorde lastbiltrafik over Storebælt i foråret 2020 (målt før corona-restriktioner medførte begrænsninger i specielt personbilstrafikken) ca. 30.000 ud af den ugentlige trafik på 220.000 køretøjer altså ca. 13,6%.

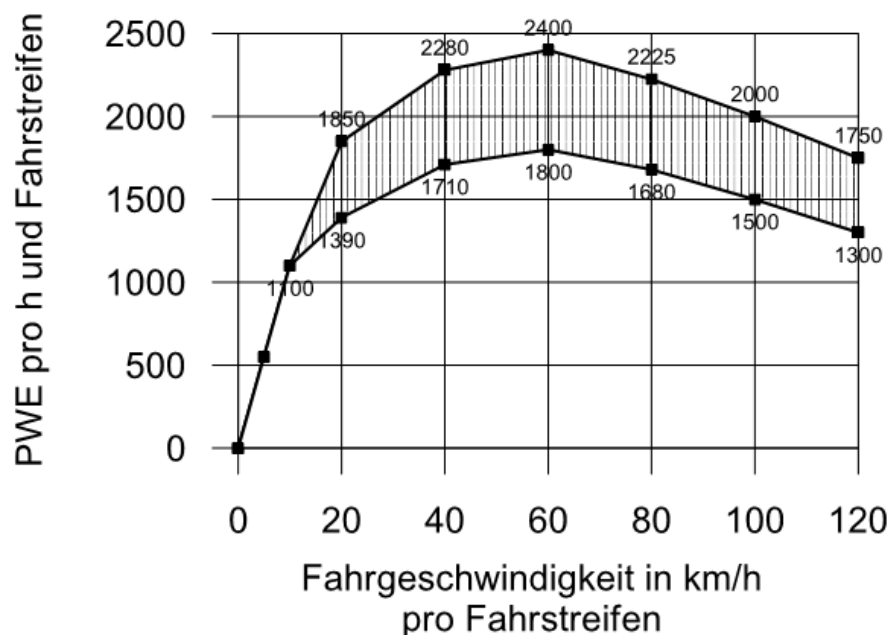
Da spidsbelastninger i trafikken typisk sker på de store rejsedage, vil lastbiltrafik sandsynligvis udgøre en mindre andel på disse dage end til hverdag.

I tilfælde af at Storebælt er lukket må det forventes at trafik mellem Sjælland og Tyskland vil køre via Femern tunnelen, mens trafik mellem Sjælland og Jylland vil køre via Kattegat. Det antages at en væsentlig del af lastbiltrafikken vil køre via Femern. Dette skal dog bekræftes af fremtidige trafikstudier.

På baggrund af ovenstående er scenarier med hhv. 12% og 20% andel af lastbiler gennemregnet. Hvor 12% anses som en konservativ, men realistisk andel, mens 20% anses som en yderliggående ikke forventeligt andel i tilfælde af at Storebælt er lukket.

Maksimal trafikkapacitet for en tunnel afhænger af trafikhastigheden og den afstand, der holdes til forankørende. Schweiziske ASTRA [13] angiver maksimal trafikkapacitet for tunneler med ensrettet trafik som vist i Figur 3-11.

il



Figur 3-11: Antal bilenheder (pcu) per i kørebane per time i tunnel ved forskellige trafikhastigheder [11]

PIARC [2] anbefaler, at for en landlig ensrettet tunnel skal der regnes med en maksimal trafikintensitet på 1800 pcu/t per vognbane ved 60 km/t. Altså 3600 pcu/t per tunnelrør for Kattegat.

I denne analyse er det valgt at følge PIARC's anbefaling i mangel på data omkring ved hvilken trafikhastighed og med hvilken andel lastbiler timerekorderne på Storebælt er sat. Antages, at det er ved 90 km/t og med 13,6% lastbiler, så svarer det til ca. 3250 pcu/t. PIARCs anbefalede kapacitet ved 90 km/t og med 13,6 % lastbiler svarer til 3484 pcu/t altså ca. 7% mere end timerekorden for Storebælt.

For en andel på 12% lastbiler, medfører det følgende fordeling:

Tabel 3-6: Fordeling af person og lastbiler ved 12% lastbiler

Hastighed [km/t]	Personbil [stk/time]	Lastbil [stk/time]
0	(207)*	(31)*
10	1.510	227
20	2.186	328
60	2.769	415
110	2.574	386
130	2.460	369

*[stk/km]

For en andel på 20% lastbiler medfører det følgende fordeling:

Tabel 3-7: Fordeling af person og lastbiler ved 20% lastbiler

Hastighed [km/t]	Personbil [stk/time]	Lastbil [stk/time]
0	(171)*	(43)*
10	1.309	327
20	1.895	474
60	2.400	600
110	2.231	558
130	2.132	533

*[stk/km]

I analyserne anvendes lastbiler (23 ton) samt personbiler som dækkende for alle typer køretøjer.

3.7.1 Trafikhastighed

Maksimal hastighed i tunnel anvendt til ventilationsberegninger er op til 130 km/t for personbiler og 80 km/t for lastbiler. Skiltet hastighed forventes at være lavere.

3.7.2 Bilpark

Andelen af grønne biler (elektriske-, hybrid- og brintdrevne) i Danmark forventes at vokse de kommende år. Regeringen kundgjorde i december 2020 et mål om 750.000 grønne biler i 2030.

Hybridbiler har p.t. kun batterirækkevidde på op til 100 km [1]. Det må derfor antages, at en del af disse vil anvende deres konventionelle motor gennem Kattegat tunnelen. Et skøn på en forventet andel af hybrid- kontra rent eldrevne biler kendes ikke.

Eldrevne biler bidrager udover partikler fra slitage af dæk og bremses ikke til udledning af forurening.

Ifølge data fra Danmarks Statistik [9] bestod vognparken af personbiler i Danmark i august 2020 af:

Tabel 3-8: Fordeling af personbiler på drivmiddel 2019

Personbiler	Stk	Andel
Benzin	1.833.077	67,8%
Diesel	829.131	30,7%
Grønne	42.020	1,5%
I alt	2.704.228	100%

Fordelingen af personbiler i 2019 på EURO normer i Danmark er vist i Tabel 3-9. Det ses, at knap halvdelen af bilerne opfylder EURO 5 og 6. Dette til trods for at EURO 5 har været gældende siden 2008 og EURO 6 siden 2014, se Tabel 3-10 for andel.

Tabel 3-9: Fordeling på EURO normer for personbiler 2019 [5]

Personbiler til 28. april 2019	Norm	Antal
Benzin	EURO 6	815.683
	EURO 5	656.969
	EURO 1-4	925.353
	Ældre	220.197
Diesel	EURO 5-6	500.000
	Ældre	311.000
Totalt		2.618.202

Baseret på Tabel 3-9 fremgår det, at dieselbiler udgør 31% af personbilparken. P.t. tyder det på, at denne andel falder i fremtiden, da flere byer overvejer at indføre forbud mod dieselbiler. Men, da nye dieselbiler forurener væsentlig mindre end ældre dieselbiler, så er det svært at skønne den fremtidige fordeling. Derfor er det i alle scenarier i denne analyse valgt konservativt at anvende en andel på 31% diesel for personbiler.

Tabel 3-10: Gyldigheds tidspunkt EURO normer for personbiler benzin [2]

Norm	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Gældende fra	1992	1997	2000	2005	2008	2014

Ifølge Danmarks statistik [12] er middellevetiden for fabriksnye biler 15,1 år og der ny-indregistreres omkring 218,000 biler pr. år.

Med en antaget ibrugtagning af Kattegat forbindelsen om femten år i 2035, kan det med rimelighed antages, at størstedelen af køretøjerne på dette tidspunkt vil opfylde EURO 6 eller være 100% brint- eller 100% eldrevne. Som årene går efter åbningen af Kattegat forbindelsen, så vil andelen af grønne køretøjer vokse og forureningsniveauet falde.

3.7.3 Udvalgte trafikale scenarier

Som beskrevet ovenfor, er der stor usikkerhed på andel af grønne køretøjer og hvor mange som vil være hybrid. Ligeledes er det usikkert, hvor stor en andel de forskellige EURO-klaser udgør i 2035. Der er derfor også udvalgt nogle scenarier som forventes at være konservative, bl.a. ved at antage at alle, inklusiv grønne, køretøjer er benzin- eller dieseldrevne ved kørsel gennem tunnel. Et yderliggående scenarie er medtaget, for at teste, hvor konservativ

trafiksammensætningen skal være for at grænseværdierne ikke kan overholdes. Her regnes med 20% lastbiler og EURO klasser ældre end EURO 5 udgør 20%. For at analysere mere forventelige fremtidige scenarier medtages også to mere pragmatiske scenarier hvor hhv. 15 og 25% af køretøjerne forventes at være el-drevne.

Scenarie 1

- > 100% EURO 6
- > 12% lastbiler
- > Myldretidstrafik taget som 10% ÅDT (1250 køretøjer/t per rør ved 130 km/t, se også Tabel 3-5)

Scenarie 2

- > 100% EURO 6
- > 12% lastbiler
- > Myldretidstrafik taget som maksimal tunnelkapacitet (2829 køretøjer/t per rør se også Tabel 3-6)

Scenarie 3

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > 12% lastbiler
- > Myldretidstrafik taget som maksimal tunnelkapacitet (2829 køretøjer/t per rør se også Tabel 3-6)

Scenarie 4

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > 20% lastbiler
- > Myldretidstrafik taget som maksimal tunnelkapacitet (2665 pcu/t per rør se også Tabel 3-7)

Scenarie 5

- > 70% EURO 6, 10% EURO 5, 10% EURO 4, 5% EURO 3, 3% EURO 2 og 2% EURO 1
- > 20% lastbiler
- > Myldretidstrafik taget som maksimal tunnelkapacitet (2665 pcu/t per rør se også Tabel 3-7)

Scenarie 6

- > 15% eldrevne, 72,5% EURO 6, 12,5 % EURO 5
- > 12% lastbiler
- > Myldretidstrafik taget som maksimal tunnelkapacitet (2829 køretøjer/t per rør se også Tabel 3-6)

Scenarie 7

- > 25% eldrevne, 67,5% EURO 6 og 7,5 % EURO 5
- > 12% lastbiler
- > Myldretidstrafik taget som maksimal tunnelkapacitet (2829 køretøjer/t per rør se også Tabel 3-6)

4 Mulige beregningskombinationer

På baggrund af den gennemgåede basis er der et stort antal brutto muligheder som kunne gennemregnes.

Tabel 4-1 Kombinationsmuligheder for miljøventilation

Variabel	Antal muligheder
Korridorer / linjeføringer, herunder tunnel-type	4
Retninger	2
Trafikale scenarier - Emissions standard - Procentdel af lastbiler - Trafikmængde	7
Hastigheder (0, 10, 20, 60, 110, 130)	6
Mekanisk ventilation - Slukket - Aktiveret, men begrænset af maksimal tilladelig lufthastighed	2

Som det ses ovenfor, er der således en bruttoliste på 336 mulige kombinationer eksklusiv brugen af mekanisk ventilation.

I tillæg er der medtaget en komparativ analyse af data fra PIARC 2012 mod PIARC 2019, se Bilag C.

Beregningerne er igangsat trinvist for at vurdere følsomheden i forhold til de forskellige parametre der undersøges. På den baggrund er det blevet muligt løbende at frasortere et antal beregningskombinationer og dermed koncentrere arbejdet om de scenarier, hvor forureningskoncentrationerne er tættest på grænseværdierne.

5 Resultater

Resultater af beregninger er givet i Bilag A.

6 Diskussion af resultater

Som reference er sænketunnel KKØ-2.1 øst til vestgående trafik blev gennemregnet for alle kombinationer. Baseret på resultaterne herfra blev en del kombinationer fravalgt for de øvrige linjeføringer. Nedenfor redegøres for de væsentligste grunde til at kombinationer er fravalgt, og de væsentligste observationer er fremhævet:

6.1 Frasortering af beregningskombinationer

På baggrund af resultater fra KKØ-2.1 beregningerne kan det udledes at:

- > Forureningen fra daglig myldretidstrafik baseret på 10% af ÅDT (Scenarie 1) kan uden problemer fortyndes tilstrækkeligt til at overholde grænseværdierne, og blev derfor ikke analyseret for øvrige linjeføringer
- > Forureningen baseret på 100% EURO6 (Scenarie 2) kan uden problemer fortyndes (ventileres) tilstrækkeligt til at overholde grænseværdierne, ved alle trafikhastigheder (undtagen ved 10 og 20 km/t) og blev derfor ikke analyseret for øvrige linjeføringer – Begrundelse for hvorfor overskridelser ved 10 og 20 km/t ikke er et reelt problem er givet i afsnit 6.2
- > Der er stort set ikke forskel på resultater for vestgående og østgående trafik. Derfor er kun scenarier med vestgående trafik analyseret for de øvrige linjeføringer

6.2 Observationer

6.2.1 CO

- > CO udledningsværdierne er signifikant under grænseværdien for alle de beregnede scenarier

6.2.2 Sigtbarhed

- > Sigtbarhed ved høje trafikhastigheder (60 til 130 km/t) i de mest konservative scenarier er tæt på grænseværdien. Grænseværdien for sigtbarhed overholdes dog i alle de undersøgte scenarier. Ved lavere hastigheder er sigtbarhed signifikant under grænseværdi.

6.2.3 NO₂

- > NO₂ udledningsværdierne er den type udledning, det er sværest at holde under grænseværdien.
- > Det yderliggående, ikke forventelige, scenarie 5
 - > Myldretidstrafik taget som maksimal tunneltrafikkapacitet (2665 pcu/t per rør ved 130 km/t se også Tabel 3-7)
 - > 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO, 3% EURO2 og 2% EURO1
 - > 20% lastbiler
 kan for ingen af de undersøgte linjeføringer holdes under grænseværdierne for NO₂. Ved forholdsmæssige betragtninger kan det anslås, at for sænketunneler kortere end ca. 12,5 km og boret tunneler kortere end ca. 16,5 km vil grænseværdierne forventes at kunne overholdes for scenarie 5.
- > Ved brug af ITS, som i sikkerhedskoncept [6] er forudsat installeret, kan det forhindres at hele tunnelen fyldes med køretøjer ved lave

trafikhastigheder. Det kan f.eks. gøres ved at begrænse adgangen til tunnelen, når trafikhastigheden falder til under en forudbestemt værdi. Sikkerhedskonceptet forudsætter desuden dynamisk begrænsning af trafikvolumen for at undgå kø i tunnel for at mindske risikoen ved ulykker. I tilfælde at man fravælger et ITS ville der ved lave trafikhastigheder (10 og 20 km/t) i de fleste af de undersøgt scenarier, være et problem med at ventilere/fortynde NO₂ udledningsværdierne til under grænseværdien medmindre andelen af eldrevne køretøjer er stor:

- > Med 15% eldrevne køretøjer (scenarie 6) kan grænseværdi overholdes for de borede tunnellsninger (KKV-3.3 og KKØ-4.2). Grænseværdi kan ligeledes overholdes for sænketunnellsningerne (KKØ2.1 og KKØ3.1), men her forudsat at ITS ikke udelades, da grænseværdi ellers ikke vil kunne overholdes ved trafikhastigheder på 10 og 20 km/t
- > Med 25% eldrevne køretøjer (scenarie 7) kan grænseværdien overholdes for alle linjeføringer – Hvis ITS udelades vil grænseværdi dog overskrides med 1% ved 10 km/t for KKØ-2.1 ved vestgående trafik

Det blev observeret, at baggrundsdata for udledninger givet i PIARC 2019, inkluderede tilfælde, hvor lastbiler for EURO 6 afgav større NO_x- (/NO₂-) udledninger nedad- end opadbakke. PIARC forklarede dette med, at rensesystemet for NO_x kan slå fra, når motor ikke er tilstrækkeligt belastet, hvorved NO_x-udledninger nedadbakke bliver højere end der umiddelbart skulle forventes. Data for NO_x-udledninger nedadbakke kan derfor anses som konservative. Desuden blev der foretaget en sammenligning med baggrundsdata for udledninger givet i PIARC 2012 og PIARC 2019 baseret på scenarie 2 og scenarie 5, se Bilag C. Selvom der er væsentlige forskelle på forureningsniveauer, afhængig af om beregninger er baseret på den ene eller den anden version af PIARC, så er det for begge datasæt muligt at overholde grænseværdierne for scenarie 2, men ikke for scenarie 5. Derfor vurderes at benyttelse baggrundsdata baseret på den ene eller den anden PIARC-udgivelse, vil medføre samme konklusioner vedrørende muligheder for at ventilerer en linjeføring.

6.2.4 Sammenfatning

Det kan desuden konkluderes at:

- > Supplerende mekanisk ventilation er krævet for alle scenarier. Ved høje trafikhastigheder er tunnelen selv-ventilerende qua stempeleffekten fra trafikken (>60 km/t scenarie 1, 2, 6 og 7), (110 og 130 km/t for scenarie 3 og 4). Dette viser, at alle linjeføringer, under normale trafikforhold, vil være selvventilerende. Det skal tilføjes, at ved hastigheder på 110 og 130 km/t er stempeleffekten fra trafikken, grundet software begrænsninger i analysen, ikke beregnet, men anslået. I tilfælde af, at en senere analyse skulle vise at stempeleffekten ved 110 og 130 km/t er overvurderet, og forureningskoncentrationerne dermed grundet den lavere lufthastighed kommer over grænseværdierne, vil supplerende mekanisk ventilation kunne afhjælpe situationen.

- > Det skal bemærkes at scenarie 2, 3, 4, 5, 6 og 7 er baseret på udnyttelse af maksimal trafikkapacitet for tunnel, hvilket bygget på tal for Storebæltsforbindelsen tilnærmelsesvis kun forekommer en til to gange om året – Det vides ikke om maksimal mulig trafikkapacitet vil forekomme årligt for Kattegat, eller om det kun vil være i helt ekstraordinære tilfælde, som ved en længerevarende lukning af Storebæltsforbindelsen
- > Scenarie 5, hvor grænseværdier ikke kan overholdes, er yderliggående og ikke forventeligt:
 - > 20% lastbiler – Reelt forventes 10-12% og sandsynligvis mindre i tilfælde hvor Storebælt er lukket og Kattegats maksimale trafikkapacitet udnyttes, da den øgede trafik på disse dage forudses at skyldes personbiler, mens en del af lastbiltrafikken fra Storebælt vil benytte Femern.
 - > 30% køretøjer ældre end EURO 6 – Alle køretøjer, der ikke opfylder EURO 6 vil være mere end 20 år gamle i 2035 (anslået åbningsdato for en Kattegatforbindelse)
 - > 31% af personbiler dieseldrevne – NO₂, stammer primært fra dieseldrevne køretøjer. Det kan forventes at denne andel går ned, bl.a. grundet indfasning af grønne køretøjer.
 - > Ingen grønne køretøjer (el- eller brintdrevne) – Udviklingen går mod grønne (miljøvenlige) køretøjer og selvom en del hybridkøretøjer anvender forbrændingsmotor i tunnel, så må det forventes, at andre vil anvende elmotoren. Ligeledes må forventes, at nogle grønne køretøjer vil være rent eldrevne i 2035.
- > Baseret på resultaterne fra de analyserede tunneller vurderes det at grænseværdierne for luftkvalitet under forventelige forhold kan overholdes inklusive situationer med høje trafiktal, flere lastbiler, færre grønne køretøjer og højere andel af ældre køretøjer end forudset.
- > Det kan derfor forventes at det kun i yderst enestående trafikale spidsbelastningssituationer kan være nødvendigt at regulere trafikmængden for at kunne opnå en luftkvalitet i tunnelen, som lever op til kravene i sammenlignelige Europæiske lande (i mangel på danske normkrav for luftkvalitet i tunneler).
- > Ved forholdsmæssige betragtninger for scenarie 5 kan det ligeledes konkluderes at for sænketunneler kortere end ca. 12,5 km og for borede tunneler kortere end ca. 16,5 km vil luftkvaliteten kunne overholdes uden restriktioner af trafikken.
- > Projektrisikoen forbundet med friskluftkvalitet for kortere tunneler vurderes derfor til at være i den lave ende af forventeligt mens den for længere tunneler vurderes til at være forventelig eller i den høje ende af forventelig.
- > Grundet usikkerhed omkring fremtidige emissionskrav i Danmark, har projektet valgt at fastlægge projektrisikoen [18] for de længere tunneler i den høje ende af forventelig. Dette skal undersøges i næste fase.

7 Referencer

- 1 Femern Consolidated Technical Report, Draft; Femern A/S, December 2011
- 2 Road tunnels: Vehicle emissions and air demand for ventilation. PIARC 2019
- 3 Road tunnels: Vehicle emissions and air demand for ventilation. PIARC 2012
- 4 Håndbog N500: Vegtunneler; Statens Vegvesen. 2020
- 5 <https://autobranchend danmark.dk/nye-miljoezoner-paa-tale-her-er-fakta-om-udskaeldte-dieselbiler-i-danmark>
- 6 A134385-GT-NOT-001. Kattegatforbindelse - Kyst-Kyst Anlægstekniske Forundersøgelser - Ventilation og Sikkerhed - Teknisk Notat, COWI September 2020
- 7 <https://www.berlingske.dk/bil/langt-fra-alle-hybridbiler-er-miljoengle-her-er-overblikket-over-de-tre-typer>
- 8 <https://finans.dk/erhverv/ECE12036000/trafikken-over-storebaelt-er-halveret/?ctxref=ext>
- 9 <https://www.statistikbanken.dk/2440>
- 10 E-mail fra Peter Sturm hovedforfatter på [2]
- 11 Vehicle Udlednings Air Demand Environment Longitudinal Ventilation. PIARC 1995
- 12 <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyt/NytHtml?cid=28467#:~:text=Mid-dellevetiden%20for%20de%200%2D%C3%A5rige,I%201962%20var%20der%20470.000>
- 13 Danske Vejregler: [Afmærkning af vejarbejder m.v. \(lovportaler.dk\)](#)
- 14 ASTRA 13 001; Lüftung der Strassentunnel - Bundesamt für Strassen ASTRA Richtlinie Ausgabe 2008 V2.01; -
- 15 »Indledende linjeføringsovervejelser for en Kattegatforbindelse, Delrapport,« COWI, Marts 2020.
- 16 At-Vejledning - Stoffer og materialer - C.0.1 - Grænseværdier for stoffer og materialer - 2007
- 17 <https://denstoredanske.lex.dk/bremselængde>
- 18 Sund & Bælt Holding A/S. A134285-A-REP-007. Forundersøgelse af en Kattegatforbindelse, Kyst-Kyst Anlægstekniske Undersøgelser - Vej og Bane -Anlægsteknisk Baggrundsrapport. August 2021

Bilag A Resultater

A.1 Forklaring til tabeller

Resultater for de forskellige linjeføringer er givet i Tabel 7-1 til Tabel 7-27.

Rød skrift i tabeller markerer, at en given grænseværdi overskrides ved en given trafik hastighed.

Med grøn markering vises, at lufthastigheden for det givne scenarie er under 10 m/s (12 m/s for 110 og 130 km/t) og lufthastighed derfor uden problemer kan øges ved at aktivere et antal impulsventilatorer. I rækken nedenunder gentages beregning, men lufthastighed er forøget vha. impulsventilatorer. For lavere trafik hastighed er samme antal eller flere impulsventilatorer aktiveret.

De steder, hvor lufthastigheden er markeret med orange, er hvor lufthastigheden overstiger 10 m/s (12 m/s for 110 og 130 km/t), samtidig med forureningskoncentrationen overstiger grænseværdien. For disse scenarier er forureningskoncentrationen ikke beregnet for højere lufthastighed.

Der er ikke udført beregninger for trafik hastigheder mellem 21 og 59 km/t. Derfor kan man ikke udlede, at et scenarie er selvventilerende ved trafik hastigheder mellem 21 og 59 km/t, selvom scenariet er selvventilerende ved 60 km/t.

De højeste koncentrationer af forurening forekommer ved 130 km/t og ved 10 til 20 km/t.

Der er beregnet forureningskoncentrationer for:

- > 130 km/t, som er øvre grænse for skiltet hastighed på danske motorveje
- > 110 km/t, grundet at 130 km/t er en meget høj hastighed for en tunnel, og designhastighed derfor i et senere designstadium sandsynligvis nedjusteres til 110 km/t. Dette kan f.eks. være som et sikkerhedstiltag grundet risikoanalyse, eller fordi, at tunnelens tværsnit derved måske kan mindskes, da skilte skal være mindre med trafik hastigheder på 110 km/t end med 130 km/t
- > 60 km/t, grundet at det er hastigheden, hvor trafikmængden pr. time er højest se også Figur 3-11
- > 10 og 20 km/t, fordi der erfaringsmæssigt er høje udledninger ved disse hastigheder
- > 0 km/t, grundet trafikken holder stille og tunnelbrugere derfor er udsat for længere tids påvirkning af forurening

Det skal desuden bemærkes, at grundet software begrænsninger har det ikke været muligt at simulere forskellig hastighed for lastbiler og personbiler. Lastbiler er derfor ved 130 og 110 km/t simuleret med samme hastighed som personbiler. Dette medfører en øget stempeleffekt og altså en unaturlig høj

lufthastighed. For at modvirke dette, er et antal ventilatorer ved disse hastigheder rent beregningsteknisk aktiveret i retning mod trafikken for at nedbringe lufthastigheden til et mere realistisk niveau. Antallet af ventilatorer aktiveret mod trafikens retning er valgt ud fra at lufthastigheden i tunnel ikke væsentligt skal overstige 10-12 m/s. Det har i nogen tilfælde medført at lufthastighed i tunnel er stort set ens for 110 og 130 km/t.

Udledning fra lastbiler ved 110 og 130 km/t er justeret, så den svarer til udledningen ved 80 km/t.

A.2 Resultat KKØ2.1 øst til vest

Scenarie 1:

- > 100% EURO 6
- > Myldretidstrafik baseret på 10% af ÅDT (1250 køretøjer/t per rør ved 130 km/t, se også Tabel 3-5)
- > 12% lastbiler

Tabel 7-1: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 1

Trafik hastighed	CO	NO ₂	SIGT	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	14,5	0,15	0,0022	6,7*
110	5,5	0,12	0,0023	7,5*
60	2,3	0,13	0,0027	6,5
20	12,7	2,17	0,0054	2,8
20	3,2	0,54	0,0014	10,0
10	2,7	0,74	0,0012	10,0
0	3,9	0,77	0,0001	2,7

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 2:

- > 100% EURO 6
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-2: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 2

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	22,3	0,71	0,0034	10,0*
110	8,7	0,58	0,0035	9,9*
60	4,1	0,74	0,0050	7,4
20	22,3	3,83	0,0096	3,1
20	6,8	1,18	0,0029	10,0
10	4,8	1,31	0,0021	10,0
0	3,5	0,67	0,0001	3,6

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 3:

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-3: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 3

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	21,2	0,93	0,0034	10,1*
110	8,6	0,75	0,0035	10,0*
60	4,8	1,08	0,0051	7,3
60	3,6	0,81	0,0038	9,8
20	7,6	1,69	0,0030	10,0
10	6,7	1,96	0,0021	10,0
0	1,4	0,36	0,0000	10,0

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 4:

- > 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO3, 3% EURO og 2% EURO1;
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" (2665 pcu/t per rør, se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-4: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 4

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	17,9	0,92	0,0039	10,3*
110	7,2	0,81	0,0038	10,8*
60	4,6	1,19	0,0056	7,9
60	3,7	0,94	0,0044	10,0
20	7,3	2,07	0,0036	10,0
10	6,1	2,60	0,0026	10,0
0	2,2	0,67	0,0001	6,4

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 5:

- > 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO3, 3% EURO og 2% EURO1;
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2665 pcu/t per rør, se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-5: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 5

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	18,5	1,28	0,0035	12,0*
110	7,9	1,12	0,0036	12,0*
60	4,7	1,41	0,0046	10,0
20	9,3	2,58	0,0037	10,0
10	8,3	3,23	0,0028	10,0
0	2,5	0,81	0,0002	10,0

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 6:

- > 15% eldrevne, 72,5% EURO 6 og 12,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-6: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 6

Trafik Hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	21,2	0,74	0,0034	10,1*
110	6,0	0,60	0,0035	9,9*
60	3,2	0,78	0,0050	7,4
20	12,1	3,91	0,0095	3,1
20	5,2	1,21	0,0030	10,0
10	3,8	1,36	0,0022	10,0
0	1,3	0,36	0,0000	7,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 7:

- > 25% eldrevne, 67,5% EURO 6 og 7,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-7: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 7

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	10,8	0,59	0,0033	10,0*
110	4,4	0,48	0,0035	9,9*
60	2,3	0,60	0,0050	7,4
20	16,6	3,91	0,0095	3,1
20	3,8	0,92	0,0029	10,0
10	2,7	1,01	0,0032	10,0
0	1,0	0,28	0,0000	7,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

A.3 KKØ2.1 vest til øst

Scenarie 3:

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-8: Resultater KKØ2.1 vest til øst scenarie 3

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	21,4	0,75	0,0034	9,9*
110	8,6	0,75	0,0035	9,9*
60	4,8	1,09	0,0050	7,4
60	4,4	0,97	0,0045	8,2
20	7,6	1,68	0,0030	10,0
10	5,8	1,95	0,0022	10,0
0	3,1	0,84	0,0001	4,4

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 4:

- > 80% EURO6, 20% EURO5;
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet 1(2665 pcu/t per rør, se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-9: Resultater KKØ2.1 vest til øst scenarie 4

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	18,2	0,30	0,0039	10,2*
110	7,2	0,24	0,0038	9,9*
60	4,6	1,19	0,0056	7,9
60	3,6	0,94	0,0044	10,0
20	7,4	2,08	0,0036	10,0
10	6,0	2,62	0,0026	10,0
0	2,5	0,78	0,0001	6,2

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 5:

- > 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO3, 3% EURO og 2% EURO1;
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2665 pcu/t per rør, se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-10: Resultater KKØ2.1 vest til øst scenarie 5

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	18,4	1,28	0,0035	12,0*
110	7,8	1,12	0,0036	12,0*
60	4,7	1,41	0,0046	10,0
20	9,3	2,56	0,0037	10,0
10	8,4	3,26	0,0029	10,0
0	2,2	0,72	0,0002	10,0

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 6:

- > 15% eldrevne, 72,5% EURO 6 og 12,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-11: Resultater KKØ2.1 vest til øst scenarie 6

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	14,2	0,70	0,0034	9,9*
110	5,8	0,57	0,0035	9,9*
60	3,2	0,77	0,0050	7,4
20	16,5	3,86	0,0095	3,1
20	5,1	1,19	0,0030	10,0
10	3,8	1,35	0,0021	10,0
0	1,3	0,36	0,0001	7,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 7:

- > 25% eldrevne, 67,5% EURO 6 og 7,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-12: Resultater KKØ2.1 vest til øst scenarie 7

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	10,1	0,56	0,0033	9,9*
110	4,1	0,45	0,0035	9,9*
60	2,3	0,58	0,0050	7,4
20	12,1	2,94	0,0095	8,2
20	3,1	0,78	0,0025	10,0
10	2,7	1,00	0,0021	10,0
0	1,0	0,28	0,0001	7,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

A.4 KKØ3.1 øst til vest

Scenarie 3:

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-13: Resultater KKØ3.1 øst til vest scenarie 3

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	17,5	0,76	0,0028	10,1*
110	7,2	0,63	0,0029	10,0*
60	4,0	0,91	0,0042	7,4
20	20,4	4,55	0,0081	3,1
20	6,3	1,40	0,0025	10,0
10	4,8	1,64	0,0019	10,0
0	2,9	0,77	0,0001	3,9

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 4:

- > 80% EURO6, 20% EURO5,
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet 1(2665 pcu/t per rør, se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-14: Resultater KKØ3.1 øst til vest scenarie 4

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	15,1	0,77	0,0033	10,2*
110	6,5	0,67	0,0035	10,1*
60	3,8	1,01	0,0047	7,9
60	3,0	0,79	0,0037	10,0
20	6,1	1,73	0,0030	10,0
10	5,8	2,15	0,0022	10,0
0	2,4	0,71	0,0001	5,0

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 5:

- > 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO3, 3% EURO2 og 2% EURO1;
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2665 pcu/t per rør se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-15: Resultater KKØ3.1 øst til vest scenarie 5

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	15,3	1,07	0,0029	12,0*
110	6,5	0,93	0,0030	12,0*
60	3,9	1,18	0,0038	10,0
20	7,8	2,15	0,0032	10,0
10	7,9	2,69	0,0024	10,0
0	2,6	0,27	0,0002	7,0

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 6:

- > 15% eldrevne, 72,5% EURO 6 og 12,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-16: Resultater KKØ3.1 øst til vest scenarie 6

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	11,5	0,58	0,0027	10,1*
110	4,7	0,47	0,0029	10,0*
60	2,7	0,64	0,0041	7,4
20	13,8	3,22	0,0080	3,0
20	4,2	0,99	0,0025	10,0
10	3,1	1,12	0,0018	10,0
0	1,0	0,30	0,0000	7,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 7:

- > 25% eldrevne, 67,5% EURO 6 og 7,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-17: Resultater KKØ3.1 øst til vest scenarie 7

Trafik Hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	8,3	0,46	0,0027	10,1*
110	3,3	0,37	0,0029	10,0*
60	1,9	0,49	0,0041	7,4
20	10,0	2,46	0,0079	3,1
20	3,1	0,76	0,0024	10,0
10	2,3	0,83	0,0018	10,0
0	0,8	0,23	0,0000	7,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

A.5 KKØ3.1 vest til øst

Ikke analyseret da det vurderes at scenarie vil have mindre udslip end KKØ2.1 vest til øst

A.6 KKV3.3 øst til vest

Scenarie 3:

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-18: Resultater KKV3.3 Øst til vest scenarie 3

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[µg/m ³]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	20,6	0,89	0,0031	10,0*
110	8,5	0,73	0,0032	9,8*
60	4,7	1,05	0,0048	7,1
60	3,3	0,74	0,0034	10,0
20	7,0	1,53	0,0027	10,0
10	5,9	1,87	0,0021	10,0
0	4,3	0,79	0,0001	3,2

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 4:

- > 80% EURO6, 20% EURO5,
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2665 pcu/t per rør, se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-19: Resultater KKV3.3 øst til vest scenarie 4

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	17,9	0,90	0,0037	10,1*
110	7,6	0,77	0,0039	10,0*
60	4,5	1,15	0,0054	7,6
60	3,4	0,88	0,0041	10,0
20	6,9	1,89	0,0033	10,0
10	6,2	2,38	0,0023	10,0
0	2,4	0,72	0,0001	5,4

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 5:

- > 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO3, 3% EURO og 2% EURO1;
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2665 pcu/t per røse, også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-20: Resultater KKV3.3 øst til vest scenarie 5

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	18,2	1,23	0,0033	12,0*
110	7,6	1,08	0,0033	12,0*
60	4,4	1,33	0,0042	10,0
20	7,4	2,96	0,0026	10,0
10	18,2	1,23	0,0033	10,0
0	2,9	0,95	0,0002	6,7

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 6:

- > 15% eldrevne, 72,5% EURO 6 og 12,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-21: Resultater KKV3.3 Øst til vest scenarie 6

Trafik Hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[µg/m ³]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	9,9	0,54	0,0031	10,0
110	4,0	0,44	0,0032	9,8
60	2,2	0,57	0,0047	7,1
20	11,8	2,81	0,0091	3,0
20	3,5	0,84	0,0027	10,0
10	2,5	0,91	0,0020	10,0
0	0,9	0,25	0,0000	7,4

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 7:

- > 25% eldrevne, 67,5% EURO 6 og 7,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-22: Resultater KKV3.3 Øst til vest scenarie 7

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[µg/m³]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	8,3	0,46	0,0027	10,1
110	3,3	0,37	0,0029	10,0
60	1,9	0,49	0,0041	7,4
20	10,0	2,46	0,0079	3,0
20	3,1	0,76	0,0024	10,0
10	2,3	0,83	0,0018	10,0
0	0,8	0,23	0,0000	7,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

A.7 KKV3.3 vest til øst

Ikke analyseret da det vurderes at scenarie vil have mindre udslip end KKØ2.1 vest til øst.

A.8 KKØ4.2 øst til vest

Scenarie 3:

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-23: Resultater KKØ4.2 øst til vest scenarie 3

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	19,5	0,85	0,0030	9,9*
110	7,9	0,69	0,0031	9,8*
60	4,5	1,01	0,0046	7,1
60	3,2	0,71	0,0033	10,0
20	6,8	1,50	0,0026	10,0
10	5,1	1,72	0,0020	10,0
0	2,8	0,75	0,0001	4,3

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 4:

- > 80% EURO 6 og 20% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2665 pcu/t per rør, se også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-24: Resultater KKØ4.2 øst til vest scenarie 4

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	17,0	0,86	0,0036	9,6*
110	7,8	0,79	0,0040	9,3*
60	4,3	1,11	0,0052	7,6
60	3,8	0,97	0,0045	8,7
20	6,6	1,82	0,0032	10,0
10	5,4	2,30	0,0024	10,0
0	2,3	0,68	0,0001	5,4

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 5:

- > 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO3, 3% EURO og 2% EURO1;
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2665 pcu/t per rør se, også Tabel 3-7)
- > 20% lastbiler

Tabel 7-25: Resultater KKØ4.2 øst til vest scenarie 5

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	7,2	1,03	0,0032	12,0*
110	7,2	1,03	0,0032	12,0*
60	8,5	1,30	0,0034	10,0
20	7,2	1,03	0,0032	10,0
10	7,2	1,03	0,0032	10,0
0	3,0	0,96	0,0002	6,5

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 6:

- > 15% eldrevne, 72,5% EURO 6 og 12,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-26: Resultater KKØ4.2 øst til vest scenarie 6

Trafik Hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	13,0	0,21	0,0030	9,9*
110	5,3	0,17	0,0031	9,8*
60	3,0	0,23	0,0046	7,1
20	15,4	1,13	0,0088	3,0
20	5,9	0,44	0,0034	7,7
10	5,2	0,58	0,0029	6,5
0	1,9	0,17	0,0001	4,4

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

Scenarie 7:

- > 25% eldrevne, 67,5% EURO 6 og 7,5% EURO 5
- > Myldretidstrafik baseret på tunnel "maksimal" kapacitet (2829 køretøjer/t per rør, se også Tabel 3-6)
- > 12% Lastbiler

Tabel 7-27: Resultater KKØ4.2 øst til vest scenarie 7

Trafik hastighed	CO	NO ₂	Sigt	Lufthastighed
[km/t]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[m/s]
130	9,3	0,16	0,0030	9,9*
110	3,8	0,13	0,0031	9,8*
60	2,1	0,17	0,0046	7,1
20	11,3	0,86	0,0087	3,0
20	4,4	0,34	0,0034	7,7
10	3,8	0,43	0,0029	6,5
0	1,4	0,13	0,0001	4,4

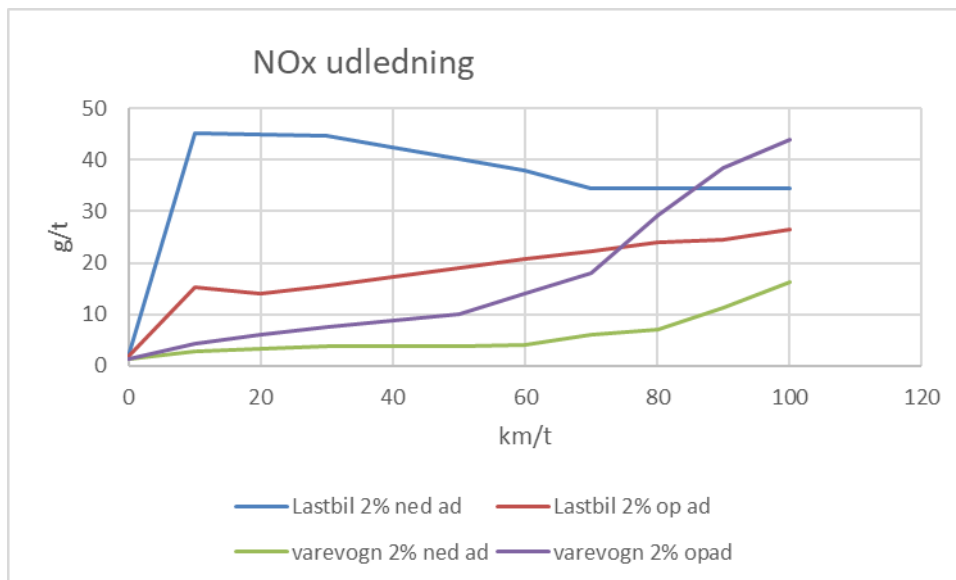
*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1

A.9 KKØ4.2 vest til øst

Ikke analyseret, da det vurderes, at scenarie vil have mindre udslip end KKØ2.1 vest til øst.

Bilag B PIARC 2019 udlednings data

Køretøjer burde have lavest udledning, når motoren er mindst belastet. Dvs. mindre udledning ved lave end ved høje hastigheder og mindre udledning nedad- end opadbakke. Men ved gennemgang af basisdata fra PIARC 2019 bemærkede COWI, at NO_x- (/ NO₂-) udledninger for lastbiler EURO6 er højere for kørsel nedad- end opadbakke, se Figur 7-1. Desuden bemærkedes, at værdierne for kørsel opadbakke for lastbiler tilmed var mindre end tilsvarende værdier for varevogne opadbakke.



Figur 7-1: Udledning af NO_x for lastbil og varevogn ved 2% op- og nedadbakke

COWI kontaktede Peter Sturm, som er redaktør for den engelske version af PIARC 2019. Ifølge Peter Sturms svar nedenfor (Frit oversat fra engelsk og med enkelte tilpasninger for at gøre svaret mere læsevenligt):

"Data er resultatet af simulering af køremønstre for de enkelte køretøjsklasser.

Euro 6 lastbiler er udstyret med et SCR-system, der har brug for en bestemt driftstemperatur. Hvis denne temperatur ikke opnås, går DeNox-kapaciteten tabt, og der optræder næsten rå-gaskoncentrationer ved udstødningsrøret. Dette kan være op til en faktor på 10, og er tilsyneladende tilfældet, når man kører ned til -6%. Derfor har den formodede anomalitet en forklarlig grund.

Køretøjsklassen LGV (varevogne og små lastbiler) er et specielt tilfælde. Generelt er Euro 6 også udstyret med DeNox / SCR-systemer. Denne køretøjsklasse indeholder imidlertid en bred blanding af køretøjer, der starter fra pizzaleverancerbiler og også dækker varevogne, med forskellige last- / lastrum. Alle har forskellige ydelser og levetider for deres efterbehandlingssystemer til udstødningsgas. Denne blanding gør det vanskeligt, når man sammenligner enkeltresultater med andre køretøjer. Derudover er køremønstret for f.eks. 40 km/t af en tung lastbil anderledes end køremønstret for en varevogn.

Databasen, der anvendes til frembringelse af PIARC-udledningsfaktorer, er et europæisk datagrundlag til udledning af udledningsfaktorer for veje, og der er

ingen særlig kategori for tunnelkørsel. Det betyder, at PIARC var nødt til at vælge køremønstre, der kunne passe til tunneler. Ikke desto mindre er der stadig forskelle i disse mønstre for lastbiler, varevogne og personbiler med samme gennemsnitlige køretøjshastighed.

Alle disse variabler komplicerer udarbejdelsen af valide datasæt, og analyser, som den i (COWI) har udført, er vigtige for at kontrollere den samlede gyldighed af et sådant datasæt.

I det indrapporterede tilfælde har vi (PIARC) en forklaring på forskellene, men det er muligt, at der på trods af den store indsats, der blev gjort for valideringen af data, stadig vil være nogle fejl".

Bilag C Validering af PIARC 2019 udlednings data

Som en form for validering af PIARC 2019 data, se også kapitel 3.5, er der for KKØ2.1 foretaget en genberegning af scenarie 2 og scenarie 5, hvor udledningsdata er taget fra PIARC 2012. Nedenfor demonstreres, at selvom der er forskel på resultaterne baseret på de to datasæt, så vil brug af det ene datasæt frem for det andet ikke lede til ændrede konklusioner.

Begge er scenarier med maksimal trafikkapacitet af tunnel. Scenarie 2 er 100% EURO6 og 12% lastbiler, mens scenarie 5 er 70% EURO6, 10% EURO5, 10% EURO4, 5% EURO3, 3% EURO og 2% EURO1 samt 20% lastbiler

For scenarie 2 ses, at udledninger baseret på PIARC 2012 medfører at:

- > CO-udledninger er 2-5 gange større end udledninger baseret på PIARC 2019, men stadig under grænseværdi på 70 ppm
- > NO₂ udledninger for 60, 110 og 130 km/t er af samme størrelsesorden som udledninger baseret på PIARC 2019. For 0 og 10 km/t kan NO₂-grænseværdi ikke overholdes, når data baseres på PIARC 2012. For 10 og 20 km/t kan grænseværdier ikke overholdes, når data baseres på PIARC 2019. Som også beskrevet i kapitel 6.2.3, kan det med brug af ITS forhindres at hele tunnelen fyldes med trafik ved lave trafikhastigheder. Derfor kan det undgås, at disse scenarier med overskridelse af grænseværdien for NO₂ reelt set kan forekomme
- > For sigtbarhed afviger koefficienten for lyssvækkelse generelt for alle trafikhastigheder i forhold til PIARC 2019 med både større og mindre værdier. Ved 60 km/t, overskrides grænseværdien, men ved at øge lufthastigheden i tunnelen kan grænseværdien overholdes. Ved 0 km/t er koefficienten 28 gange større end koefficienten baseret på PIARC 2019, men stadig under grænseværdien

Scenarie 2:

Tabel 7-28: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 2, sammenligning PIARC 2019 med PIARC 2012

Trafik ha- stighed	CO		NO ₂		Sigtbarhed		Luftha- stighed
	PIARC 2019	PIARC 2012	PIARC 2019	PIARC 2012	PIARC 2019	PIARC 2012	
	[km/t]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[ppm]	
130	22,3	53,4	0,71	0,72	0,0034	0,0043	10,0
110	8,7	21,7	0,58	0,65	0,0035	0,0044	9,9
60	4,1	15,8	0,74	0,71	0,0050	0,0052	7,4
60						0,0047	8,3
20	22,3	62,5	3,83	2,69	0,0096	0,0081	3,1
20	6,8	19,2	1,18	0,83	0,0021	0,0025	10,0
10	4,8	23,9	1,31	1,18	0,0021	0,0019	10,0
0	3,5	7,6	0,67	1,24	0,0001	0,0028	3,6
0				0,89			10,0

For scenarie 5 ses stort set tilsvarende tendenser i forhold til at anvende data fra PIARC 2012 og PIARC 2019. I begge tilfælde kan grænseværdier ikke overholdes for alle hastigheder, undtaget for 0 km/t baseret på PIARC 2019

Scenarie 5:

Tabel 7-29: Resultater KKØ2.1 øst til vest scenarie 5, sammenligning PIARC 2019 med PIARC 2012

Trafik ha- stighed	CO		NO ₂		SIGT		Luftha- stighed
	PIARC 2019	PIARC 2012	PIARC 2019	PIARC 2012	PIARC 2019	PIARC 2012	
	[km/t]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[m ⁻¹]	[ppm]	
130	18,5	38,8	1,28	1,24	0,0035	0,0039	12,0*
110	7,9	15,0	1,12	1,20	0,0036	0,0045	12,0*
60	4,7	12,0	1,41	1,39	0,0046	0,0047	10,0
20	9,3	19,6	2,58	2,40	0,0037	0,0037	10,0
10	8,3	34,7	3,23	4,70	0,0028	0,0045	10,0
0	2,5	6,7	0,81	3,34	0,0002	0,0028	10,0

*Lufthastighed genereret af trafik er cirka værdi se kapitel A.1