

Transportministeriet

TEMA2015

Et værktøj til beregning af transporters
energiforbrug og emissioner i Danmark

Marts 2015

COWI

Transportministeriet

TEMA2015

Et værktøj til beregning af transporters
energiforbrug og emissioner i Danmark

Marts 2015

Dokumentnr. 1
Version 3
Udgivelsesdato 19. marts 2015

Udarbejdet jjd
Kontrolleret jee
Godkendt jjd

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	7
2	Opbygning af modellen	8
2.1	Generelt	8
2.2	Afstande og vejtyper	10
2.3	Rejsehastighed	12
2.4	Belægning	12
3	Personbiler	16
3.1	Oversigt	16
3.2	Analyse	22
3.3	Beregningsgang	33
3.4	Kilder	35
4	Busser	36
4.1	Oversigt	36
4.2	Analyse	39
4.3	Beregningsgang	42
4.4	Kilder	42
5	Persontog	43
5.1	Oversigt	43
5.2	Analyse	49
5.3	Beregningsgang	56
5.4	Kilder	57
6	Færger til passagertransport	59
6.1	Oversigt	59
6.2	Analyse	62
6.3	Beregningsgang	67
6.4	Kilder	67

7	Fly	69
7.1	Oversigt	69
7.2	Analyse	72
7.3	Beregningsgang	76
7.4	Kilder	77
8	Varebiler	78
8.1	Oversigt	78
8.2	Analyse	82
8.3	Beregningsgang	87
8.4	Kilder	89
9	Lastbiler	90
9.1	Oversigt	90
9.2	Analyse	94
9.3	Beregningsgang	98
9.4	Kilder	99
10	Godstog	100
10.1	Oversigt og brugerparametre	100
10.2	Analyse	101
10.3	Beregningsgang	104
10.4	Litteratur	105
11	Færger til godstransport	106
11.1	Oversigt og brugervariabler	106
11.2	Analyse	107
11.3	Kilder	107
12	Fragtskibe	108
12.1	Introduktion	108
12.2	Brugervariabler	109
12.3	Analyse	110
12.4	Beregningsformler	112
12.5	Litteratur	112
13	Øvrige data	113
13.1	Beregning af hurtigste rute	113
13.2	Emissioner fra elproduktion	116
13.3	Opstrøms emissioner	120
13.4	Litteratur	120

14	Appendiks 1: Sammenvejning af miljøeffekter.	121
14.1	Skadesvirkninger af emissioner	122

Variabel konvention

Følgende viser hvilke symboler og bogstaver, der er anvendt i rapporten.

Variabel	Forklaring	Enhed
E	Emission	[g]
E^P	Emission pr. person	[g/p]
E^G	Emission pr. ton	[g/ton]
E^E	Emission pr. el energiforbrug	[g/kWh]
e^P	Emission pr. personkm	[g/pkm]
e^K	Emission pr. pladskm	[g/plkm]
e^G	Emission pr. tonkm	[g/tonkm]
e	Emission pr. km	[g/km]
q	Energiforbrug pr. km	[MJ/km] / [kWh/km]
q^P	Energiforbrug pr. personkm	[MJ/pkm] / [kWh/pkm]
q^G	Energiforbrug pr. tonkm	[MJ/tonkm] / [kWh/tonkm]
q^K	Energiforbrug pr. pladskm	[MJ/plkm] / [kWh/plkm]
C	Personbilækvivalent	[Antal biler]
B	Belægningsprocent	[%]
K^P	Kapacitet i transportmidlet	[antal sæder el. bilpladser]
K^G	Transportmidlets lasteevne	[ton]
H	Kørehastighed (i øjeblikket)	[km/h]
V	Rejsehastighed (i gennemsnit)	[km/h]
T	Temperatur	[°C]
S	Slitage	[km]
D	Distance	[km]
F	Emissions-korrektionsfaktor	[]
G	By, land eller motorvejsandel	[%]

Index som fodtegn	Forklaring	Værdier
<i>l</i>	Luftforurening (Emissionstype)	[CO ₂ , CO, HC, NO _x , SO ₂ , Partikler]
<i>i</i>	Fra	[Byer, havne, stationer, luft-havne]
<i>J</i>	Til	[Byer, havne, stationer, luft-havne]
<i>T</i>	Transportmiddeltype	[Euro type, produkt-litra, mm.]
<i>G</i>	Geografi	[Land, by]
<i>S</i>	Segment eller strækning	[1.42 el. strækningsnavn]

Forord

TEMA modellen er Transportministeriets beregningsværktøj til energiforbrug og emissioner for transport i Danmark. Modellen har opnået en bred brugerflade og anvendes af ministerier, styrelser, uddannelses og forskningsinstitutioner, kommuner og virksomheder til grønne regnskaber.

De seneste par år er der sket en markant udvikling i energieffektiviteten og ikke mindst har nye transportmuligheder og – teknologier meldt sig på banen. Derfor har Transportministeriet prioriteret en opdatering af modellen, hvilket er baggrunden for den seneste udgave, TEMA2015. Projektet er udført af COWI for Transportministeriet, og arbejdet blev igangsat i 2014.

Opdateringen af modellen har været organisatorisk forankret i Transportministeriet i fællesskab med en følgegruppe bestående af repræsentanter fra Trafikstyrelsen, DTU Transport og Metroselskabet.

Følgegruppen har haft til formål, at sikre opdateret input og skabe fælles forståelse for udregningerne. Med TEMA2015 er der taget højde for udviklingen, og de nye trends er indarbejdet. Forbedringerne er tilvejebragt i tæt samspil med følgegruppen, som har fulgt arbejdet med et stort og aktivt engagement.

1 Indledning

Formålet med denne rapport er at dokumentere de data og emissionsberegninger, der ligger til grund for PC-modellen TEMA2015 (TEMA = Transporters Emissioner under Alternative forudsætninger).

Modellen kan anvendes til at beregne energiforbrug og luftemissioner for såvel person som godstransporter. Brugeren skal som minimum angive, hvilket transportmiddel der ønskes anvendt, og hvor mange personer/tons gods der ønskes transporteret, i så fald regnes der på en typisk situation. Derudover giver TEMA2015 brugeren mulighed for at specificere en lang række parametre som f.eks. afstand, belægning, brændstof, hastighed, køremønster osv. På denne måde kan modellen også bruges til at regne på konkrete transportere, der afviger fra det typiske.

I rapporten skelnes der mellem transportformer og typer. Transportformer bruges om den mere overordnede opdeling (personbil, bus, tog osv.), mens typerne af transportmidler er en finere opdeling inden for hver transportform.

Rapporten er opdelt i kapitler efter transportform, således af kapitel 3-12 har fokus på hver af transportformerne i modellen. Der er tilstræbt samme struktur i alle de kapitler, der vedrører transportformerne: Indledningsvis begrundes de valg af data og metode, der gælder for den pågældende transportform. I afsnit 1 gives en oversigt over de faktorer, der er inddraget for den pågældende transportform. I afsnit 2 præsenteres analyser af de forskellige faktoreres indvirkning på energiforbrug og emissioner. I afsnit 3 vises beregningsformlerne. I afsnit 4 vises den litteratur, der er anvendt ved den pågældende transportform.

Hovedvægten i rapporten er lagt på en dokumentation af de anvendte forudsætninger og beregningstekniske procedurer.

2 Opbygning af modellen

2.1 Generelt

Modellen er opdelt i to dele for henholdsvis persontransport og godstransport. Der er tale om to separate modeller, der trods den fælles overordnede struktur er helt uafhængige. Det er således ikke muligt at foretage sammenligninger af energiforbrug og emissioner på tværs mellem person- og godstransport inden for modellens rammer.

Persontransporter foregår typisk fra dør til dør og sammensættes ofte af forskellige transportmidler til en kæde. F.eks. køres der i taxi eller tog til lufthavnen, fly fra lufthavnen til anden lufthavn og taxi igen til den endelige destination. Alternativt kan der køres i bus eller S-tog til en hovedstation, Intercity til en ny station og så bus til den endelige destination.

Tilsvarende for godstransport, som også i mange tilfælde udføres som sammensat transport, f.eks. med lastbil eller varebil fra afsenderen til en godsterminal og videre til en anden godsterminal med lastbil, tog eller skib og derfra videre igen med en distributionsbil til modtageren.

Outputtet fra modelberegningerne er energiforbrug (målt i MJ) samt emissioner (målt i gram) af:

- CO₂
- CO
- NO_x
- HC
- SO₂
- Partikler

Resultaterne (energiforbrug og emissioner) opgøres totalt pr. transportmiddel, pr. transportmiddelkilometer og pr. personkilometer eller tonkilometer, og præsenteres i tabelform samt ved grafiske illustrationer. Derudover er der mulighed for at eksportere resultaterne til andre applikationer, således at resultaterne kan viderebearbejdes efter brugerens ønsker.

Der er generelt stor usikkerhed ved beregning af emissionsfaktorer, hvilket betyder, at emissionsresultaterne fra TEMA må tages med et vist forbehold. I de tabeller, brugeren præsenteres for, er det alligevel valgt at vise resultaterne med

to decimaler. Antallet af decimaler skal ikke tages som et udtryk for stor præcision i beregningerne, men er alene medtaget for at give en ensartet præsentation samt for at undgå for store fejl på grund af afrunding.

EDB-implementeringen af modellen er foretaget i Delphi v. XE5, hvilket gør, at TEMA er blevet en selvstændig applikation.

Tur-begrebet

For en given tur kan brugeren enten specificere, hvor turen starter og ender, eller selv specificere turlængden. Der er i TEMA indlagt information om afstande mellem udvalgte destinationer i Danmark. Således kan brugeren vælge mellem 687 destinationer, der udgør byer med flere end 1.000 indbyggere, DSB's stationer på hoved-, regional- og lokalbaner, S-togsnettet, metrostationer, lufthavne og større havne. TEMA kender vej- og baneafstanden mellem destinationerne, og kan beregne, hvor stor en del af emissionerne, der finder sted i byområder for en given transport.

Herudover skal brugeren vælge transportform og type. De transportmidler, som modellen vælger "default", er det typiske transportmiddel for den pågældende transportform på den valgte rute. Brugeren har mulighed for at ændre på modellens standardopsætninger af transportmidlerne, f.eks. køremønstre og slitage, samt ændre på de standardbelægningsgrader, som modellen foreslår.

I Tabel 2-1 ses de transportformer, der er medtaget i modellen.

Tabel 2-1 *Transportformer og transportmiddeltyper*

Persontransport	Godstransport
Personbil <ul style="list-style-type: none"> • Benzin • Diesel • Biodiesel • Plug-in Hybrid • El Bus <ul style="list-style-type: none"> • Bybus, diesel og gas • Turistbus, diesel Persontog <ul style="list-style-type: none"> • Regionaltog • Intercitytog • Lyntog • S-tog • Metro Færge <ul style="list-style-type: none"> • Hurtigfærge • Konventionel færge • Mindre færge Fly <ul style="list-style-type: none"> • Jet • Turboprop 	Varebil < 3,5t <ul style="list-style-type: none"> • Benzin • Diesel Lastbil <ul style="list-style-type: none"> • Diesel, solo • Diesel, med anhænger Godstog <ul style="list-style-type: none"> • Diesel • El Færge <ul style="list-style-type: none"> • Hurtigfærge • Konventionel færge • Mindre færge Fragtskib <ul style="list-style-type: none"> • Bulk carrier (massegodsskib) • Containerskib

2.2 Afstande og vejtyper

I TEMA2015 kan der rejses mellem 687 destinationer. Disse omfatter:

- Byer med mere end 1.000 indbyggere
- Togstationer på hoved-, regional- og lokalbaner
- S-togsstationer
- Metrostationer
- Lufthavne, der betjener de væsentligste indenrigsrutefly
- Færgehavne, der betjener de væsentligste færgeruter
- Malmö og Ystad

Vejafstande

Der benyttes det samme vejnet med tilhørende afstandstabel for alle personbiler, varebiler, lastbiler samt busser, dog er vejnettet udbygget således, at det også indeholder metrostationer og de S-tog stationer, der er kommet til siden 2000. Turlængden kan i TEMA2015 enten specificeres direkte eller ved at angive rejsens udgangspunkt og destination. Vælges sidstnævnte mulighed, beregner TEMA2015 selv afstanden mellem de to lokaliteter på baggrund af en tabel over vejafstande mellem 687 lokaliteter.

Vejafstandene mellem byerne i TEMA er beregnet og lagt ind i en afstands-matrix, og det er ved afstands-beregningen antaget, at der vælges den hurtigste rute. De hastigheder, der er anvendt til beregning af ruten, er personbilhastigheder. For busser og lastbiler er hastigheden på motorvej lavere end for personbiler, men det vurderes imidlertid, at de beregnede ruter i rimeligt omfang vil afspejle de faktiske ruter for lastbiler. For busser vil den hurtigste rute derimod ofte undervurdere kørefastheden fra et punkt til et andet, da busruter planlægges efter andre kriterier end tiden.

Standardværdierne for afstanden mellem to lokaliteter skal derfor ses som et groft skøn for busserne, da busser ikke kører den korteste vej, men efter en rute, der er fastlagt af andre hensyn. I PETRA (1997) er det beregnet, at en bus typisk kører 13 procent længere end en bil, der kører den hurtigste vej. Dertil kommer yderligere en strækning, idet der kan være en afstand fra såvel udgangspunkt som destination til de nærmeste stoppesteder. Beregningen er alligevel inkluderet for at give brugeren en indikation af den korteste vejafstand mellem de valgte lokaliteter, og det er herefter op til brugeren at vurdere den konkrete afstand for bussens faktiske rute.

Skinneafstande

Alle person- og godstog - med undtagelse af S-tog og metro - kører på HRL-nettet. HRL-nettet er inddelt i 42 segmenter, og inddelingen er foretaget således, at nettet er opdelt i sammenhængende strækninger, som ikke forgrener sig eller skifter status fra f.eks. hoved- til regionalbane. Til hvert segment er knyttet en by- og landprocent, som er andelen af segmentet, der ligger i henholdsvis by- og landzone. Dette er med henblik på at kunne fordele dieselemissionerne på udledninger i by eller på landet.

Til beregning af længden af en rejse med S-tog benyttes en afstandstabel, der angiver den korteste skinne-afstand mellem ethvert muligt par af S-togsstationer. Tilsvarende benyttes en afstandstabel for metroen over skinneafstanden mellem metrostationerne.

Afstand med fly

I TEMA2015 er der medtaget samme danske indenrigsruter som i 2010. Afstandene mellem lufthavnene stammer fra Københavns Lufthavns hjemmeside, hvor flyveafstanden mellem lufthavnene er estimeret. Det bemærkes, at de afstande, der benyttes i TEMA2015, dermed repræsenterer de faktiske flyvedistancer, hvilke som følge af flyets op- og nedstigninger er længere end fugleflugtsafstande mellem de tilsvarende lufthavne.

Vejtyper

I TEMA2015 er afstandene, som i tidligere versioner, opdelt på fire forskellige vejtyper:

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

By defineres som mindst 200 indbyggere i en sammenhængende bebyggelse med mindre end 200 m mellem husene, hvilket er den samme definition, som anvendes af Danmarks Statistik.

Opdelingen af emissionerne fra vejtransport på by og land er foretaget ved at opdele vejene i vejtyper i og uden for byområder. Denne opdeling er foretaget ved hjælp af et GIS kort, der viser, hvilke områder der ligger i byområder, og hvilke der ligger udenfor. "By" betyder således, at vejen ligger i et område, hvor der er mindre end 200 meter mellem to huse. En væsentlig del af motorvejene omkring København ligger derfor i "By" ud fra denne definition. De fleste andre motorveje ligger uden for "By".

2.3 Rejsehastighed

Køremønstre for biler og busser

Til hver af de fire vejtyper hører for såvel personbiler, varebiler, lastbiler og busser et køremønster repræsenteret ved en gennemsnitlig rejsehastighed. I TEMA2015 er der indarbejdet et standardvalg, men brugeren har mulighed for at ændre den gennemsnitlige rejsehastighed med henblik på at afspejle en konkret situation. Default-værdierne er fastsat på baggrund af undersøgelser/målinger af gennemsnitshastigheder samt eksperter skøn. I de efterfølgende kapitler vedrørende de enkelte køretøjer uddybes TEMA2015's standardkøremønstre.

Et transportmiddels køremønster er karakteriseret ved en gennemsnitshastighed, der er resultatet af den variable kørehastighed og mængden af stop undervejs. Køremønstre med lav hastighed er derfor ensbetydende med mange stop og dermed større energiforbrug og emissioner end "jævne" køremønstre med middelhøje gennemsnitshastigheder, ved samme gennemsnitlige hastighed.

Køremønstre for persontog

Opdelingen i regionaltog, intercitytog og lyntog med tilhørende standsemønstre svarer til køremønstre for biler, således at et øget antal stationer på en given togrute øger antallet af accelerationer og dermed energiforbruget og emissionerne. Regionaltog har f.eks. kortest distance mellem stationerne og standser derfor oftest, mens Intercity standser færre gange og lyntog kun standser i de største byer og dermed har længst mellem stationerne.

2.4 Belægning

Definition af begrebet "belægning"

Ved belægning forstås antallet af personer eller mængden af gods, der transporteres på turen. I TEMA2015 indgår foruddefinerede belægningsgrader, der er et udtryk for gennemsnitlige værdier, og det er ikke umiddelbart nødvendigt at ændre disse, medmindre brugeren ønsker at afspejle en konkret tur, der ikke kan forventes at være gennemsnitlig. Det kunne f.eks. være en tur i myldretiden. En sådan beregning vil kræve kendskab til belægningsgraden i myldretiden fra andre kilder end TEMA.

Det er ikke muligt at vælge en belægningsgrad over 100 pct. for person-, last- og varebiler. I busserne repræsenterer 100 pct. alene siddepladserne. Belægningsgraden i busser kan sættes til over 100 pct. for at afspejle fuld udnyttelse af sidde- og ståpladser. For persontog kan der vælges en belægningsgrad op til 100 procent, hvilket svarer til antallet af siddepladser i toget.

Belægning i personbiler	For personbiler har belægningsgraden ikke indflydelse på den enkelte bils emissioner og energiforbrug, da det antages, at en bil har samme energiforbrug uanset antallet af personer ¹ . Derimod har belægningen betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionstal, idet en bil med to passagerer alt andet lige har halvt så stort energiforbrug pr. personkm i forhold til en bil med en enkelt passager.
Belægning i busser	<p>For busser derimod medregnes belægning ved selve emissionsberegningen. Passagererne i bussen gør bussen tungere, hvorved bussen bruger mere energi og udsender flere emissioner. Default-belægning i busserne varierer alt efter, hvilken bustype der er tale om.</p> <p>Endvidere kan det argumenteres, at en bus med færre passagerer vil stoppe færre gange undervejs på turen, end en bus med relativt flere passagerer. Denne effekt af belægningsgraden kan afspejles ved at brugeren af TEMA vælger en hurtigere eller langsommere gennemsnitshastighed, og dermed simulere en rejse med færre eller flere standsninger undervejs.</p>
Belægning i persontog	<p>For transporter med persontog inkluderes passagerbelægning ikke ved selve emissionsberegningen, da der estimeres emissioner på baggrund af en gennemsnitlig belægningsgrad, og det antages, at energiforbruget ikke afhænger af antallet af passagerer. Belægningen har derimod betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionsestimater, og brugeren har mulighed for selv at ændre belægningsgraden, såfremt rejsen tænkes foretaget i perioder med større eller mindre belægning.</p> <p>Det bemærkes, at det faktiske passagertal i særligt belastede perioder kan være højere end den oplyste kapacitet, idet kapaciteten for alle andre tog end metro antages at svare til antallet af siddepladser, mens kapaciteten for metroen svarer til det af Metroselskabet oplyste maksimale passagertal.</p>
Belægning på færger	<p>Færgernes emissioner påvirkes ikke af hvor mange passagerer, der er med færgen. Derimod deles emissionerne fra færgen mellem de typer af transporter som færgen sejler med:</p> <ul style="list-style-type: none">• Landgangspassagerer• Personbiler• Busser• Lastbiler <p>Hvor stor en del af færgens emissioner, en enkelt personbil tillægges, afhænger således af, hvor mange personbiler, landgangspassagerer, busser og lastbiler færgen ellers medbringer.</p> <p>Som default antages det, at færgen medbringer biler, busser og lastbiler svarende til opgørelserne fra Danmarks statistik. Brugeren kan selv ændre dette for at</p>

¹ I det datamateriale der ligger til grund for TEMA findes ikke belastningsafhængige emissionsfunktioner for personbiler.

afspejle en konkret situation i det omfang, der foreligger oplysninger om færrens øvrige belægning.

Belægning i fly	For transporter med fly inkluderes belægningen ikke i selve emissionsberegningen, da det antages, at emissionsudledningen er upåvirket af belægningsgraden. Derimod har belægningen betydning for de personspecifikke emissioner. TEMA benytter default de gennemsnitlige belægningsgrader på de enkelte indenrigsruter, men brugeren har mulighed for at ændre dette for at afspejle en konkret situation.
Belægning i varebiler	For varebiler har belægningen ikke indflydelse på de beregnede, samlede energiforbrug og emissioner, men kun på de belægningspecifikke forbrugs- og emissionstal. Varebilerne i TEMA2015 har en default lasteevne på 1 ton og en default belægningsgrad på 48 procent, hvilket brugeren kan ændre for at afspejle en konkret, ikke-gennemsnitlig tur. For varebiler gælder det, at der bruges mere energi og udsendes flere emissioner, desto tungere lasten er. Dette er dog i mindre grad end i lastbiler, da lasten udgør en mindre andel af den samlede vægt i varebiler sammenlignet med lastbiler. Når denne sammenhæng ikke regnes med for varebiler skyldes det, at der ikke foreligger datamateriale til en beregning. Der kan ikke ændres på antallet af personer, der transporteres med varebilen.
Belægning i lastbiler	For lastbiler indgår belægningen i modsætning til varebiler i både beregningen af lastbilens emissioner samt ved beregning af resultater pr. tonkilometer. Årsagen er, at godset gør lastbilen tungere, hvorved den bruger mere energi og udsender flere emissioner. Der anvendes en default belægningsgrad på 47,3 procent, beregnet som "Pct. af muligt transportarbejde (tonkm)" ² , men brugeren har mulighed for at ændre dette. Hvis man vil medregne tomkørsel skal der lægges 14,8% til emissionerne.
Belægning i godstog	Belægningen for godstog angives i absolutte størrelses som togets last i ton. Belægningen på godstog indgår i beregningen af emissioner, da lokomotivet bruger mere energi, jo større vægt (last plus vogne), lokomotivet skal trække.
Belægning på gods-færger	Belægning vedrørende godstransport på færger er helt parallelt med beregning af emissioner for passagererne. Færgernes emissioner påvirkes ikke af, hvor mange passagerer og gods der er med færgen. Derimod deles emissionerne fra færgen mellem de typer af transporter, som færgen sejler med: <ul style="list-style-type: none"> • Landgangspassagerer • Personbiler • Busser • Lastbiler <p>Hvor stor en del af færrens emissioner, en enkelt lastbil tillægges, afhænger således af, hvor mange landgangspassagerer, personbiler, busser og lastbiler færgen ellers medbringer.</p>

² Danmarks Statistik tabel NVG 13

Som default antages det, at færgerne medbringer biler, busser og lastbiler svarende til opgørelserne fra Danmarks Statistik. Brugeren kan selv ændre dette for at afspejle en konkret situation i det omfang, der foreligger oplysninger om færgerens øvrige belægning.

3 Personbiler

Emissioner og energiforbrug for en rejse med personbil beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. kilometer. I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønster, og endvidere er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Biltype (herunder godkendelsesnorm samt motortype og -størrelse)
- Kørselsfordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier
- Slitage
- Koldstart
- Belægning, dvs. antal personer i bilen

Sidstnævnte indgår kun i beregningen af resultaterne pr. personkilometer, og altså ikke i beregningerne af de samlede emissioner for turen.

3.1 Oversigt

TEMA2015 beregner energiforbrug og emissioner for personbiler mellem 687 destinationer i Danmark. Hvis der vælges udgangspunkt og destination, beregner programmet selv rejsens længde samt kørselsfordeling på by, land og motorvej på baggrund af standardindstillinger for en række forudsætninger. Derudover kan brugeren selv specificere afstande, fordeling på forskellige vejtyper, rejsehastigheder, belægning, omgivende temperatur samt kilometerstand.

Emissioner og energiforbrug for en rejse med personbil beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km. I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til følgende:

- Godkendelsesnorm
- Drivmiddel
- Motorstørrelse
- Afstand (udgangspunkt og destination)
- Belægning
- Rejsehastighed
- Koldstart
- Udetemperatur
- Slitage

I Tabel 3-1 kan ses en oversigt over de inkluderede personbiltyper fordelt på drivmiddel og motorstørrelse.

Tabel 3-1 Personbiltyper fordelt på drivmiddel og motorstørrelse

Drivmiddel	Motorstørrelse
Benzin	< 0,8 liter 0,8 - 1,4 liter 1,4 - 2,0 liter > 2,0 liter
Diesel	< 2,0 liter > 2,0 liter
Plug-in Hybrid (benzin + el)	< 1,6 liter
El	74 kW

Benzin og diesel kan yderligere specificeres efter indhold af biobrændstoffer. De angivne brændstoffer svarer til de brændstoffer der er anvendt i Energistyrelsens seneste drivmiddelrapport fra november 2014.

Benzin:

- Benzin med 5% ethanol

Diesel:

- Diesel med 7 % biobrændstoffer
- Biodiesel

3.1.1 Emissionsgrænser

Personbilerne i Danmark skal overholde emissionsgrænser (normer), der afhænger af bilens alder. Da bilerne konstrueres, så de overholder disse emissionsgrænser med en vis margin, betyder det, at forskellige biler under samme norm har næsten samme emission.

Normerne til benzin- og dieslbilerne er fastsat af EU og er løbende blevet skærpet, hvilket bevirker, at nyere biler generelt har lavere emissionsfaktorer end ældre biler.

Normer er relateret til typegodkendelsen, hvor bilernes emissioner måles under gennemførelse af et standardiseret køremønster i en forsøgsopstilling. Der foretages tests under anvendelse af flere forskellige kørecykler:

UDC : *Urban Driving Cycle*, som er 4,05 km simuleret bykørsel med en maksimalhastighed på 50 km/t og en gennemsnitsha-

stighed på 18,6 km/t. UDC udføres med start med varm eller kold motor og kaldes henholdsvis UDC-hot eller UDC-cold.

EUDC : *Extra Urban Driving Cycle*, som er 6,95 km simuleret landevejs- og motorvejskørsel med varm motor. Maksimalhastigheden er 120 km/t, og gennemsnitshastigheden er 62,5 km/t.

Eurotest : en kombineret kørecyklus sammensat af en UDC-cold efterfulgt af en EUDC (i alt 11,00 km med gennemsnitligt 33,6 km/t).

Før Euro 1 anvendtes UDC, som repræsenterede køremønstret i bytrafik. For Euro 1 og Euro 2 anvendes UDC+EUDC. Opsamling af de forurenende stoffer starter dog først efter en stabiliseringsperiode på 40 sekunder. I forbindelse med indførelsen af Euro 3 justeres testcyklussen, således at opsamlingen starter umiddelbart efter start af motor, dvs. at man fjerner den førnævnte stabiliseringsperiode på 40 sekunder.

De følgende tabeller viser de fastsatte normer for benzin- og dieselmotors emissioner. Det bemærkes, at de hybridbiler, der er inkluderet i TEMA, skal overholde normerne for benzinbiler.

Tabel 3-2 Typegodkendelsesnormer for benzinbilens emissioner

Benzin	I kraft	CO	HC	NO _x	Partikler
Pre-Euro ¹⁾	10.1986	15-27 ⁴⁾	4,6-6,8 ⁴⁾		-
Euro 1	10.1990 ³⁾	2,7	0,97		-
Euro 2 (korrigeret) ²⁾	01.1997	2,2 (2,7)	0,5 (0,34) (0,25)		-
Euro 3	01.2001	2,3	0,20	0,15	-
Euro 4	01.2006	1,0	0,1	0,08	-
Euro 5	01.2011	1,0	0,1	0,06	0,005 ⁵⁾
Euro 6	09.2015	1,0	0,1	0,06	0,005 ⁵⁾

1) R15-04, før da R15-03 fra 1.10.84.

2) Omregnet til den testcyklus, der anvendes for Euro 3 og 4.

3) Euro 1 trådte først i kraft i EU fra 1.1.94, men i Danmark indførtes krav (A-12), der i store træk svarer hertil allerede fra 1990.

4) Afhængigt af vægklassen.

5) Gælder alene for biler med "direct injection engines".

Kilde: EU-direktiver, www.dieselsnet.com.

Tabel 3-3 Typegodkendelsesnormer for dieselmotors emissioner

Diesel	I kraft	CO	HC	NO _x	Partikler
Pre Euro	10.1986	15-27		4,6-6,8	-
Euro 1	10.1990 ¹⁾	2,7		0,97	0,14
Euro 2	01.1997	1		0,7	0,08
Euro 3	01.2001	0,64		0,56 (0,50) ²⁾	0,05
Euro 4	01.2006	0,5		0,3 (0,25) ²⁾	0,025
Euro 5	01.2011	0,5		0,23 (0,18) ²⁾	0,005
Euro 6	09.2015	0,5		0,17 (0,08) ²⁾	0,005

1) Euro 1 trådte først i kraft i EU fra 1.1.94, men i Danmark indførtes krav (A-12), der i store træk svarer hertil allerede fra 1990.

2) For NO_x alene.

Kilde: EU-direktiver, www.dieselnet.com.

Ikrafttrædelsesdatoen angiver, at alle nye biler, der sælges efter denne dato, skal overholde grænseværdierne.

I modellen er alle benzinbiler uden katalysator slået sammen i en gruppe (pre-Euro). De normer, der var gældende før 1986, var lidt svagere end i perioden 1986-1990, men det vurderes ikke at give nogen nævneværdig yderligere usikkerhed at betragte alle biler fra før 1990 som samme klasse.

Ud over godkendelsesnorm er der for benzinbiler mulighed for at vælge mellem fire motorstørrelser, < 0,8 liter, 0,8 - 1,4 liter, 1,4-2 liter samt > 2 liter, mens der for plug-in hybridbilen kan vælges en motorstørrelse 1,6 liter, og der for dieselmotore biler er mulighed for at vælge mellem tre motorstørrelser, henholdsvis <1,4, 1,4 - 2 liter og over 2 liter.

3.1.2 Forudsætninger

Afstand

Rejseafstanden kan specificeres direkte eller ved at angive, hvor man ønsker at komme fra og til. Hvis man specificerer udgangspunkt og destination, beregner TEMA2015 selv afstanden mellem de to lokaliteter. Det sker på baggrund af en tabel over vejafstande mellem de 687 lokaliteter, der er valgt at medtage i TEMA. For en nærmere beskrivelse af vejafstande se særskilt kapitel.

Afstanden er opdelt på følgende vejtyper:

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

Køremønstre

Til hver vejtype hører et køremønster repræsenteret ved en gennemsnitlig rejsehastighed. I Tabel 3-4 ses modellens default-værdi, dvs. det standardvalg, der ligger i modellen. Disse værdier er fastsat på baggrund af undersøgelser/målinger af gennemsnitshastigheder samt ekspertsikø.

Tabel 3-4 Default rejsehastigheder for personbiler

	By	Land
Motorvej	110	120
Øvrige veje	30	70

Køremønsteret er karakteriseret ved en gennemsnitshastighed, der er resultatet af den variable kørehastighed og antal stop. Køremønstre med lav hastighed er derfor ensbetydende med mange stop og dermed større energiforbrug og emissioner end "jævne" køremønstre med middelhøje gennemsnitshastigheder.

Belægning

I TEMA vælger brugeren selv en passagerbelægning, default er én person i bilen. Denne belægning har ikke indflydelse på den enkelte bils emissioner og energiforbrug, da det antages, at en bil har samme energiforbrug uanset antallet af personer i den. Derimod har belægningen betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionstal, idet en bil med to passagerer vil have halvt så stort energiforbrug pr. personkm i forhold til en bil med en enkelt passager.

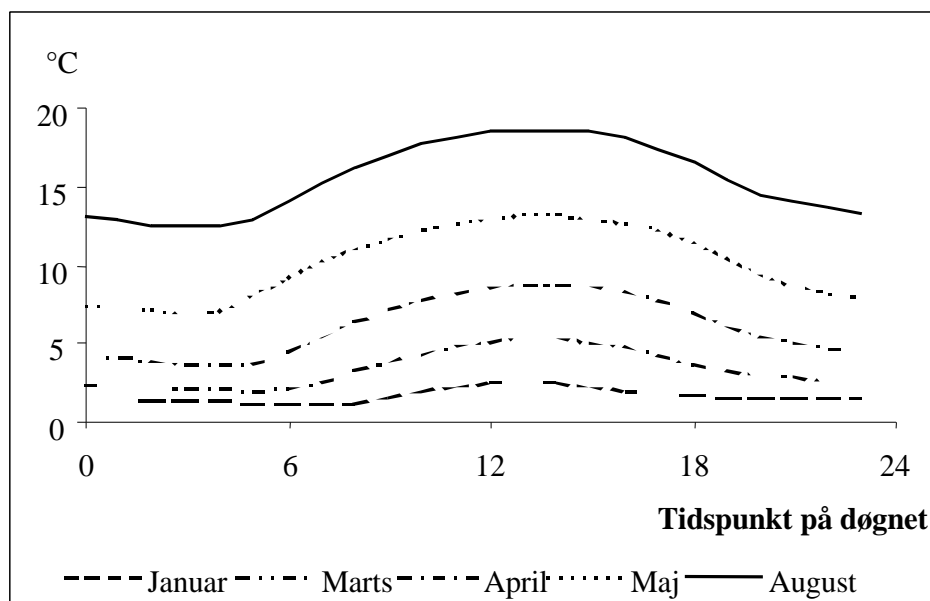
Koldstart

I TEMA2015 tillægges hver tur som standard en koldstart. Brugeren kan selv ændre dette f.eks. i situationer, hvor der foretages flere ture med korte mellemrum, og hvor bilens motor derfor ikke når at blive kold inden næste start.

Temperatur

Den omgivende temperatur har betydning for, hvor stor effekt koldstarten har. Derimod indgår temperaturen ikke i beregningen af emissionerne fra varm motor.

Figur 3-1 Temperaturvariation over døgnet



Som det fremgår af Figur 3-1, varierer udetemperaturen over døgnet, hvor der især er kraftige udsving om sommeren. Den relevante temperatur i relation til TEMA2015 er temperaturen på de tidspunkter, hvor størstedelen af transporten finder sted. Det sker fra kl. 7 til 9 om morgenen og fra kl. 16 - 18 om eftermiddagen. I morgenperioden ligger udetemperaturen ret tæt på den gennemsnitlige døgntemperatur, mens den om eftermiddagen ligger væsentligt over gennemsnitstemperaturen.

Ved at vægte temperaturen på forskellige tidspunkter af døgnet med antallet af bilture på de forskellige tidspunkter, er der beregnet en vægtet gennemsnitstemperatur på 8,5°C. Dette tal er anvendt som standardtemperatur, men kan ændres til en vægtet gennemsnitstemperatur for en given måned, eller specificeres direkte af brugeren.

Slitage

Slitage af bilen skyldes en forringet effekt af katalysatoren i takt med, at bilen ældes (kilometerstand). Da slitage således antages alene at påvirke katalysatoren og ikke selve bilens motor, korrigeres der ikke for kilometerstand for dieslbiler uden katalysator, men kun for benzin- og hybridbiler. I princippet burde der også beregnes slitage for dieslbiler med kat og partikelfilter, men dette indgår ikke i Copertmodellen og der er derfor ikke datagrundlag for at medregne slitage effekter for dieslbiler i TEMA.

TEMA2015 beregner en default-slitage, der svarer til den forventede kilometerstand for de forskellige normer 2014. Benzinbilernes kilometerstand er givet i tabellen nedenfor.

Tabel 3-5 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm, 2015

	Benzin			
	< 0,8 liter	0,8-1,4 liter	1,4 - 2 liter	>2 liter
Pre Euro		>120.000	>120.000	>120000
Euro 1		>120.000	>120.000	>120000
Euro 2		>120.000	>120.000	>120000
Euro 3		>160.000	>160.000	>160000
Euro 4	121.500	121.500	124.700	>160.000
Euro 5	65.300	65.300	68.00	88.800
Euro 6	18.200	18.200	18.700	24.800

3.2 Analyse

I TEMA2015 er det lagt til grund, at der skal grupperes efter godkendelsesnormer. TEMA2015 er ligesom den tidligere version baseret på COPERT 4.

COPERT

COPERT 4 er et softwareprogram til estimering af luftforurening fra vejtransport, og er finansieret af the European Environment Agency. COPERT er bl.a. baseret på MEET-projektet, COST 319, PARTICULATES-projektet samt ARTEMIS-projektet, og datagrundlaget udgøres således af en lang række emissionsmålinger.

COPERT omfatter godkendelsesnormer til og med Euro 6.

3 vigtige argumenter for valget af COPERT er følgende:

- 1 Konsistens med nationale opgørelser af emissioner, der er baseret på COPERT
- 2 Bedre modellering af tunge køretøjer, specielt Euro 2 og Euro 3 i COPERT end i Handbuch³
- 3 Forventet lettere adgang til opdatering da COPERT er en officiel EU model

I TEMA2015 benyttes de formler for benzin-, hybrid- og dieslbiler, der er udledt i den seneste version af COPERT 4, november 2013. Herudover inkluderer TEMA2015 estimerer for emissioner fra elbiler og plug-in hybridbiler, hvilket ikke er medtaget i COPERT. Datagrundlaget for elbilers emissioner stammer fra Trafikstyrelsens undersøgelse af elbiler 2014⁴.

³ <http://www.hbefa.net/e/index.html>

⁴ Test en Elbil, 2014

3.2.1 Varme emissioner

De varme emissionsfaktorer pr. km for emissionstype l beregnes som:

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC$$

hvor E_{HOT}^l er den samlede emissionsfaktor per km,

$e_{HOT}^l(V)$ er emissionsfaktoren beregnet ud fra rejsehastigheden, og

MC er en korrektionsfaktor for slitage.

Hastighed

Næsteften godkendelsesnormerne er rejsehastigheden den mest betydende faktor til beregning af emissionerne.

Jf. dokumentationen til COPERT 4 er den generelle formel til beregning af emissionerne CO, HC og NO_x samt til beregning af brændstofforbrug:

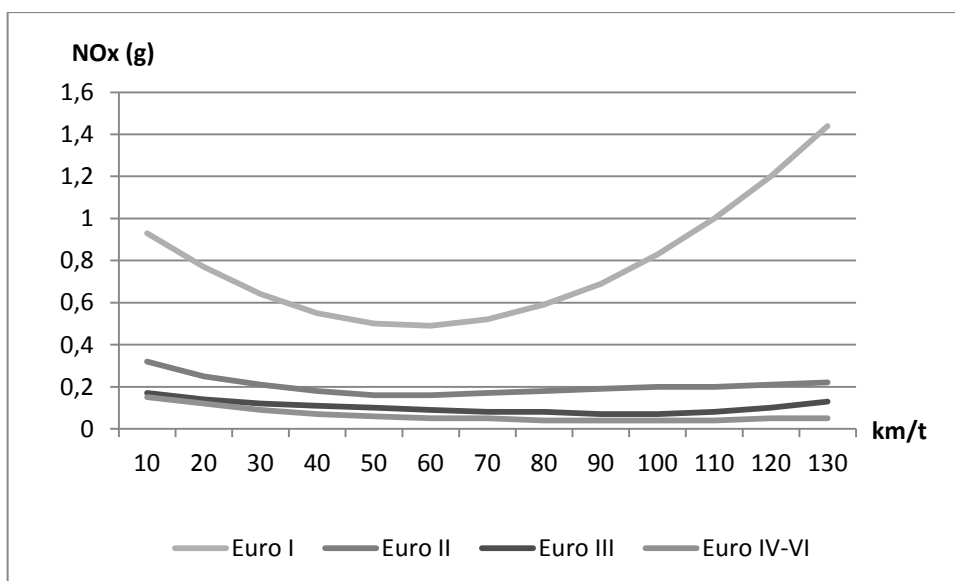
$$e_{HOT}^l(V) = \frac{a + cV + eV^2}{1 + bV + dV^2}$$

Samme formel benyttes til beregning af partikeludledning fra dieslbiler, mens partikeludledning fra benzinbiler antages konstant inden for et bestemt køremønster i hhv. by, land og på motorvej.

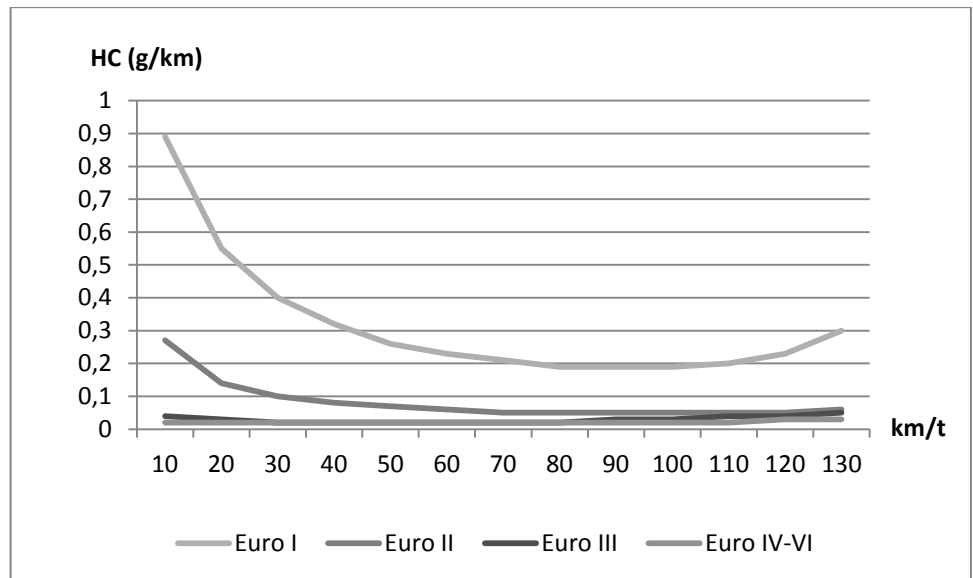
Udledning af CO₂ og SO₂ beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

I Figur 3-2 - Figur 3-8 ses emissionfunktioner for udvalgte benzin- og dieslbiler for de forskellige Euro-normer.

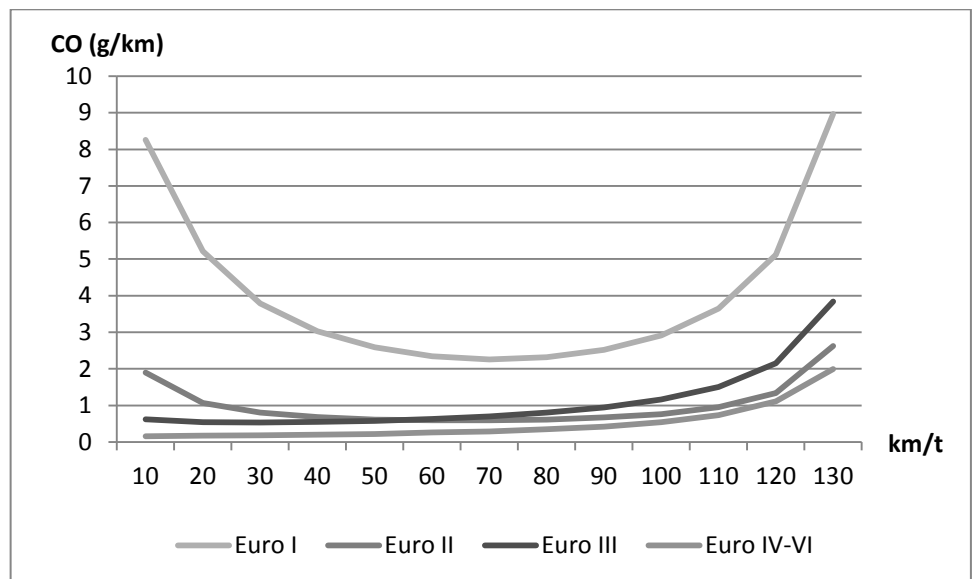
Figur 3-2 Emissionsfunktioner for NO_x for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



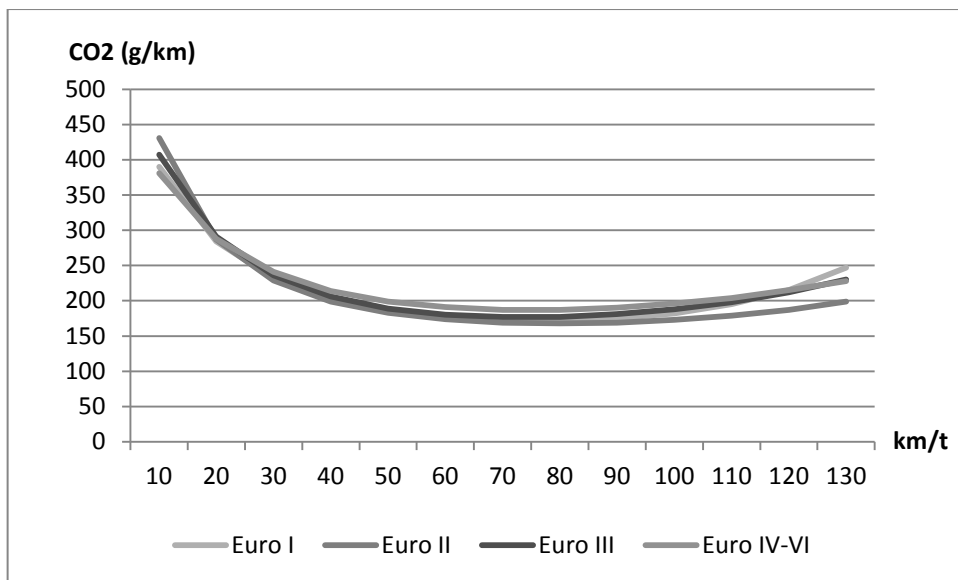
Figur 3-3 Emissionsfunktioner for HC for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



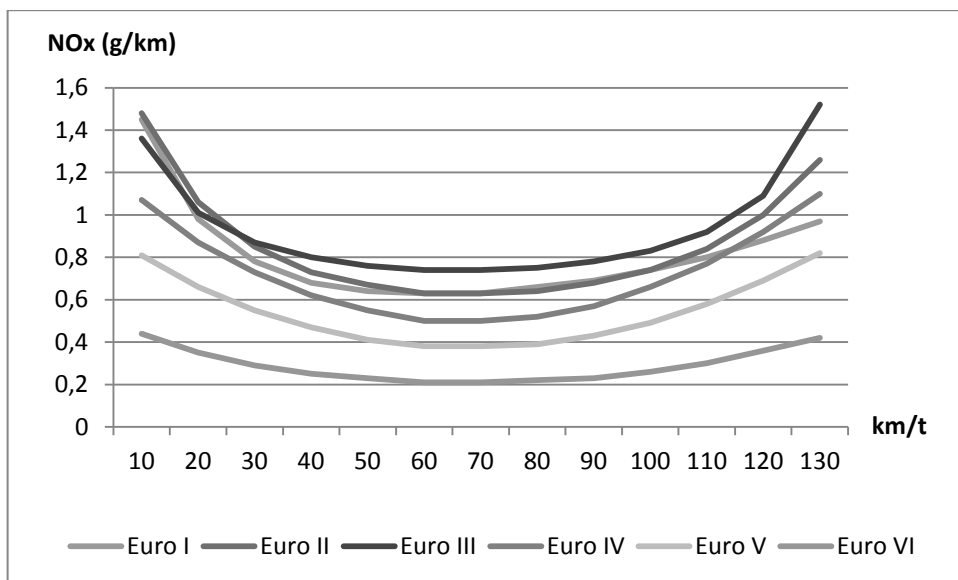
Figur 3-4 Emissionsfunktioner for CO for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



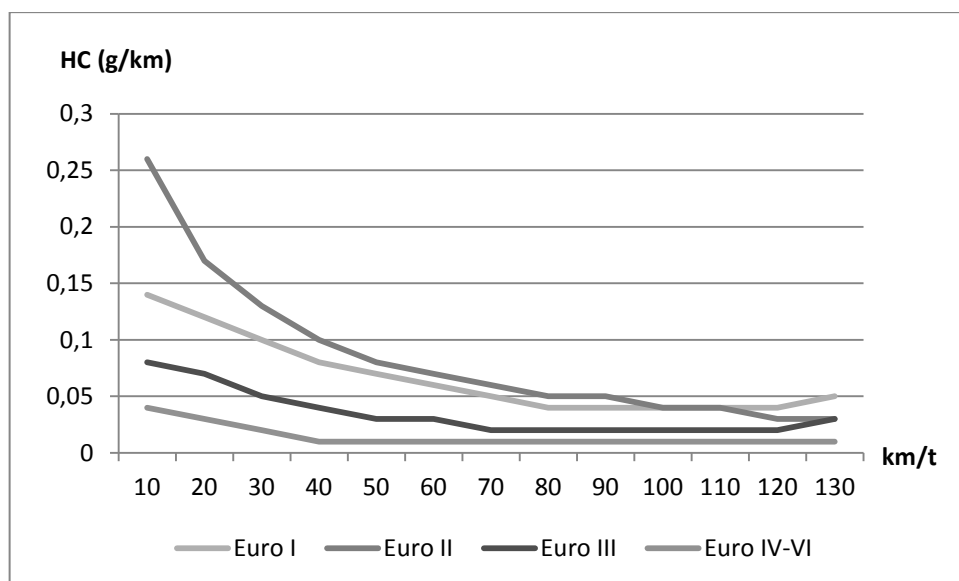
Figur 3-5 Emissionsfunktioner for CO₂ for benzindrevne personbiler (str. 1,4-2,0 l)



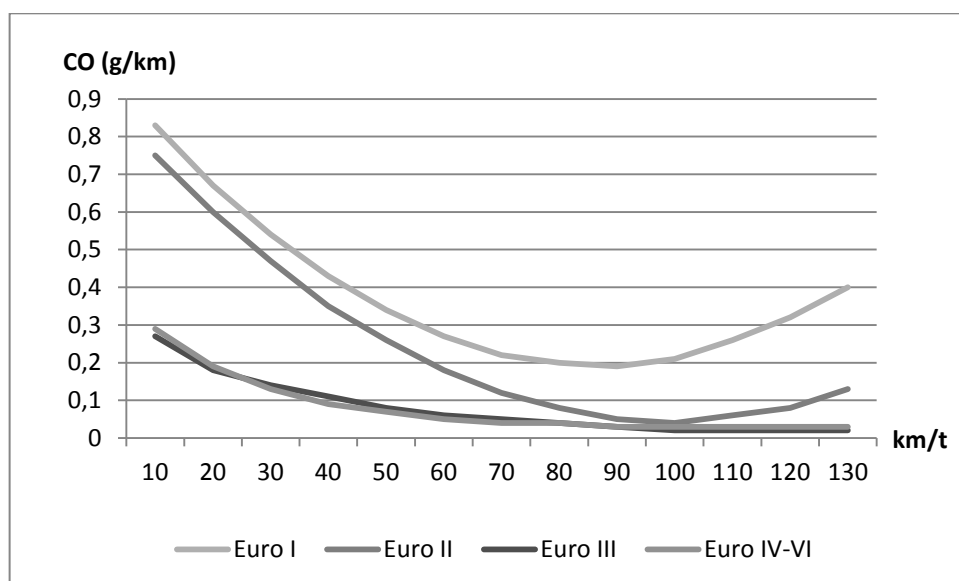
Figur 3-6 Emissionsfunktioner for NO_x for dieseldrevne personbiler (str. > 2,0 l)



Figur 3-7 Emissionsfunktioner for HC for dieseldrevne personbiler (str. > 2,0 l)



Figur 3-8 Emissionsfunktioner for CO for dieseldrevne personbiler (str. > 2,0 l)



3.2.2 Brændstofforbrug for de nyere biler

I COPERT er det angivet, at brændstofforbruget er uændret fra Euro 4 til Euro 5 og 6. Undersøgelser har imidlertid vist, at de nye Euro 5 og 6 personbiler bruger væsentligt mindre brændstof end beregnet i COPERT 4. Det betyder, at COPERT overvurderer brændstofforbrug og emissioner på de nyere biler. For at korrigere for dette er der beregnet et sæt af korrektionsfaktorer. Disse er baseret på undersøgelserne af bilernes faktiske forbrug opgivet af bilisterne i den tyske database "Spritmonitor".

Ved at sammenligne brændstofforbruget fra COPERT med de faktiske brændstofforbrug i Spritmonitor, er det beregnet hvor meget COPERT overvurderer

brændstofforbruget på de biler der er mest almindelige i Danmark i 2014. På denne baggrund er der beregnet et sæt af korrektionsfaktorer⁵. Ved at anvende disse korrektionsfaktorer reduceres brændstofforbruget og emissionerne fra de nyere biler til et niveau, der svarer til brændstofforbruget for biler i praktisk anvendelse. Tabellen nedenfor viser de beregnede korrektionsfaktorer.

Tabel 3-6 Korrektionsfaktorer til reduktion af brændstofforbrug i nyere biler

	ECE Fabriksopgivelse (l/100 km)	COPERT (l/100 km)	Real life, Spritmonitor (l/100 km)	Korrektion fra COPERT til real life forbrug
Benzin < 1,4L	4.5	6.7	5.4	80%
Benzin 1,4 - 2L	6.2	7.9	7.3	93%
Benzin > 2L	8.4	10.5	9.9	94%
Diesel < 1,4L	3.6	4.1	4.8	116%
Diesel 1,4 - 2L	3.9	5.8	4.9	85%
Diesel > 2L	5.1	8.0	6.4	80%

Brugeren har mulighed for at vælge korrektionen fra i beregningerne og således få beregnet det "rene" COPERT brændstofforbrug. Der er også mulighed for at angive egne værdier for brændstofforbruget.

3.2.3 Elbiler⁶

Elbilernes energiforbrug er baseret på Test en Elbils afsluttende rapport. Der blev målt på "trillingerne" (Mitsubishi i-MiEV og dens søsterbiler Citroen Z-Cero og Peugeot Ion) og Nissan Leaf. Der var dog kun ret få Nissan Leaf med i forsøget, og derfor er kun det samlede gennemsnit for "Trillingerne" vist i rapporten. Dette forbrug var 0,205 kWh/km som gennemsnit over året, dog med en meget stor årsvariation og med stor spredning mellem de bedst opnåede forbrug og de dårligste. Gennemsnit om sommeren var 0,16 +/- 0,03 kWh/km og i de hårdeste vintermåneder 0,26 +/- 0,08 kWh/km. Typegodkendt forbrug er 0,135 kWh/km.

⁵ Grunden til at det er nødvendigt at beregne en korrektionsfaktor i stedet for at anvende fabrikkernes opgivelse af brændstofforbrug er, at fabrikkernes beregning af forbruget undervurderer forbruget i praktisk anvendelse. Fabrikkernes beregning bygger på et standardkøremønster. Og bilerne bruger typisk mere brændstof i den virkelige verden end det der svarer til standardkøremønsteret.

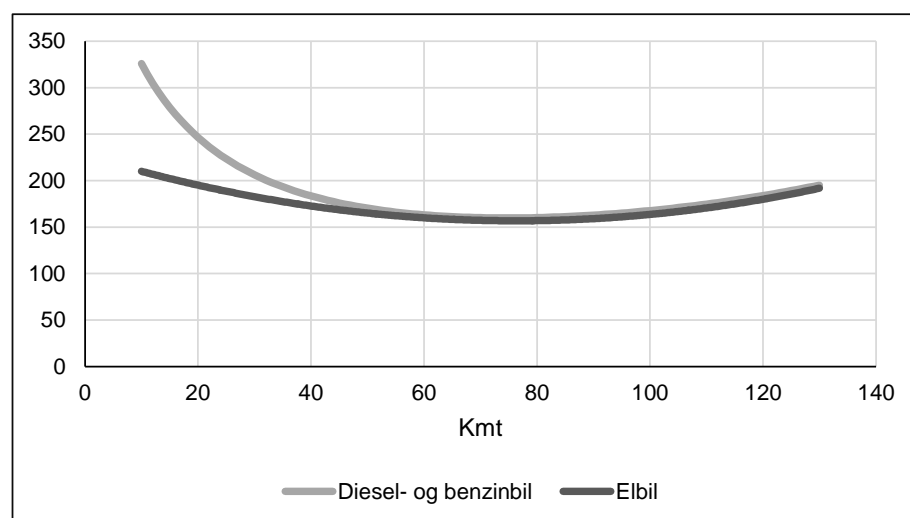
⁶ De første to afsnit er baseret på oplysninger givet i email fra Trafikstyrelsen.

Der er i rapporten vist en graf for Nissan Leaf i måleperioden 2013. Den lå gennemgående lidt højere end ”trillingerne”, men det er også en større og tungere bil. I sommerperioden lå den således på 0,18 kWh/km og om vinteren omkring 0,26 kWh/km. Typegodkendt forbrug er 0,176 kWh/km. Den nye udgave af Nissan Leaf fra 2014 har et lidt lavere forbrug og et ret avanceret varmeapparat, der sænker forbruget om vinteren.

På baggrund af ovenstående er det valgt at bruge 0,2 kWh/km som default elforbrug for en mindre person-elbiler, der er på markedet nu. En større elbil, f.eks. Tesla vil ligge noget højere, men dette er også en større bil.

Energiforbruget for en elbil varierer på samme måde som energiforbruget for diesel- og benzinbiler med køremønsteret. Ved lave hastigheder vil der være mange stop og accelerationer. Ved høje hastigheder øges luftmodstanden derimod. Da elbiler har mere effektiv energiudnyttelse ved acceleration, vil energiforbruget ved lave hastigheder dog stige mindre end tilsvarende for diesel og benzinbiler. Den følgende figur viser hvordan elforbrugets antages at variere med køremønsteret for elbiler.

Tabel 3-7 Hastighedsafhængighed for elbiler



3.2.4 Plug-in hybridbiler

Plug-in hybridbiler er elbiler der kan køre en begrænset distance på el, som en "ren" elbil, og derefter, når der ikke er mere el på batteriet, slår over på benzin.

Den strækning, som elbilen kører på el, sker med samme energiforbrug som en ren elbil, dvs. med et gennemsnitligt elforbrug på 0,2 kWh/km. Når plug-in bilen slår over på benzin er det skønnet, at den har et gennemsnitligt brændstofforbrug på 16 km per liter⁷.

Det er meget forskelligt, hvor langt plug-in bilerne kan køre på el inden de slår over på benzin og rækkevidden på el afhænger af størrelsen af batteriet. Det

⁷ Kilde: Mail fra Trafikstyrelsen 5. august.

skønnes, at en rækkevidde på 50 km på el angiver en rimelig middelværdi for plug-in hybridene. Brugeren har selv mulighed for at angive mere præcise værdier for hhv. el- og benzinforbruget, samt distancen plug-in bilen kan køre på el, inden den slår over på benzin.

3.2.5 Slitage

Den væsentligste årsag til, at slitage forøger emissionerne, er, at katalysatoren nedbrydes. Det antages, at slitage ikke påvirker selve motoren, hvorfor der ikke korrigeres for slitage på dieslbiler, men alene for slitage på benzin biler.

Det er i TEMA2015 ligesom i COPERT antaget, at der ikke sker yderligere slitage af bilen efter 120.000 km for biler tidligere end godkendelsesnorm Euro 3, mens der fra og med Euro 3 ikke antages at ske yderligere slitage efter 160.000 km.

Korrektionsfaktoren afhænger både af bilens kilometerstand og den kørte hastighed. Det antages, at for hastigheder lavere end den gennemsnitlige hastighed for bykørsel i COPERT (19 km/t) eller højere end den gennemsnitlige hastighed for landkørsel i COPERT (63 km/t) er nedskrivningen uafhængig af hastighed. Dette er dog ikke ensbetydende med, at korrektionsfaktoren for slitage er identisk uden for disse grænser, idet katalysatoren belastes væsentligt mere ved lave gennemsnitshastigheder med mange start og stop end ved højere (og dermed mere jævne) gennemsnitshastigheder, hvorfor der benyttes forskellige parametre afhængig af, om hastigheden er hhv. under 19 km/t eller over 63 km/t.

Emissionsnedskrivningen i intervallet mellem 19 km/t og 63 km/t beregnes ved hjælp af lineær interpolation, jf. Tabel 3-8, der angiver formlerne til beregning af korrektion for slitage.

Tabel 3-8 Korrektionsfaktor for benzin- og hybridbiler

Hastighed (km/t)	Korrektionsfaktor (MC)
$V \leq 19$	$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times M_{AGE} + B_{URBAN}$
$V \geq 63$	$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times M_{AGE} + B_{ROAD}$
$19 < V < 63$	$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V - 19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44}$

hvor M_{AGE} er bilens kilometerstand og A og B er beregningsparametre.

3.2.6 Koldstart

Bilers motorer er konstrueret til en driftstemperatur på ca. 90°C. Når en bil starter efter en tids stilstand, vil motoren (og eventuelt katalysatoren) have samme temperatur som omgivelserne, dvs. den er "kold", og der vil gå en vis tid, inden den er driftsvarm. I den periode vil energiforbrug og emissioner være forhøjede. Det skyldes, at motoren endnu ikke forbrænder brændstofblandingen optimalt, at den eventuelle katalysator først opnår fuld effekt, når dens indvendige temperatur er nået op på flere hundrede grader, og endelig at motoren pga. forhøjet indre friktion giver større energi- og dermed brændstofforbrug.

Da opvarmningstiden til arbejdstemperatur for motor og katalysator er længere, jo lavere omgivelsernes temperatur er, er der en omvendt sammenhæng mellem koldstartstillæggenes størrelse og udetemperaturen.

Endvidere afhænger koldstartstillægget af den gennemsnitlige hastighed i opvarmningsfasen. Ved belastende køremønstre med mange stop og accelerationer (og deraf følgende lave gennemsnitlige køremønstrehastigheder) er koldstartstillægget større end ved køremønstre med mere jævn kørsel.

Parametrene samt formlerne til beregning af koldstartstillægget i TEMA2015 er identiske med COPERT, og formlen for koldstartstillæg er:

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1)$$

hvor bc angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1
 β angiver antallet af km, der påvirkes af koldstart
 E_{HOT}^l er den varme emission af emissionstype l
 V er hastigheden i opvarmningsperioden
 t er den omgivende temperatur

Størrelsen af koldstartsemissionerne kan sammenlignes med de varme emissioner, og i Tabel 3-9 er det beregnet, hvor mange kilometer med varm motor koldstartstillægget omtrentligt svarer til ved en gennemsnitlig kørehastighed på 35 km/t og en udetemperatur på 8,5 grader svarende til standardtemperaturen i TEMA2015.

Tabel 3-9 Koldstartstillæg svarende til km med varm motor, benzinbiler, 1,4-2,0 liter

Kilometer	FC	NO _x	SO ₂	CO	HC	CO ₂
PreEuro	1,3	0,3	1,3	6,6	4,4	1,3
Euro 1	1,3	4,1	1,3	22,1	34,6	1,3
Euro 2	1,3	2,9	1,3	15,9	19,4	1,3
Euro 3	1,3	1,3	1,3	13,7	11,1	1,3
Euro 4-6	1,3	0,7	1,3	4,0	6,2	1,3

Tabel 3-10 Koldstartstillæg svarende til km med varm motor, dieselbiler, <2,0 liter

Kilometer	FC	NO _x	SO ₂	CO	HC	CO ₂	PM _{2,5}
PreEuro	0,9	0,6	0,9	2,2	4,6	0,9	4,3
Euro 1-4	0,9	0,6	0,9	2,2	4,6	0,9	0,9
Euro 5	0,9	0,2	0,9	2,2	4,6	0,9	0,9
Euro 6	0,9	0,4	0,9	2,2	4,6	0,9	0,9

Det bemærkes, at årsagen til, at koldstartstillægget for benzindrevne preEuro biler er relativt lavt målt som antallet af kørte km med varm motor, er, at der med indførelsen af Euro 1-normen blev pålagt meget skærpede krav til de varme emissioner. Dermed skal det lave kilometertal ikke ses som et udtryk for, at benzindrevne preEuro biler kun tillægges et lille emissionstillæg ved kold start, men som et udtryk for, at disse biler har langt højere emissioner med varm motor end de efterfølgende biler under godkendelsesnorm Euro 1-6.

3.2.7 Fordampningsemissioner

Der medregnes fordampningsemissioner for benzinbiler. Da diesel har meget lavere flygtighed end benzin, regnes fordampningen fra diesel for ubetydelig og er derfor ikke inkluderet i de eksisterende undersøgelser.

Fordampning af benzin fra bilens tank under såvel kørsel som parkering indebærer en øget udledning af HC, og der er fire kilder til fordampningsemissioner:

- Fordampning fra tank til luft som følge af omgivelsernes varierende temperatur.
- Fordampning til luft ved tankning.
- Fordampning fra karburator efter kørsel (Hot Soak).
- Fordampning under kørsel (Running Loss).

Fordampning som følge af omgivelsernes temperatur

Fordampning ved ændring i brændstoffets temperatur skyldes, at brændstof fylder mere ved højere temperaturer i forhold til lave temperaturer, og denne er dermed et resultat af, at den omgivende temperatur varierer over døgnet. Nyere biler er forsynet med aggregat til reduktion af fordampning fra tanken ved temperaturændringer.

I COPERT er der beregnet den daglige fordampning som følge af omgivelsernes temperatursvingninger, men da denne type fordampning ikke varierer med kørselsomfanget, inddrages den ikke i TEMA2015.

Fordampning ved tankning

Fordampning ved tankning, dvs. den mængde benzin, der spildes eller fordampes i forbindelse med tankning, er heller ikke indregnet i TEMA2015. Selvom denne type fordampning er afhængig af frekvensen af tankning og dermed af kørselsomfanget, antages det som i COPERT, at fordampning ved tankning kan betragtes som spild i forbindelse med tankstationernes brændstofleverance.

Hot Soak

"Hot Soak" er den fordampning, der sker fra motor, og indsprøjtningssystem fra motoren standses til den er afkølet. Hot Soak afhænger af motortemperaturen, idet der fordampes væsentligt mere HC ved høje temperaturer i forhold til lave temperaturer. Motortemperaturen afhænger af, hvor langt bilen har kørt, inden motoren slukkes. På grund af krav om fordampningsbegrænsende udstyr er der en kraftig reduktion af Hot Soak-emissioner fra og med Euro 1.

I COPERT er Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde og emissionerne angives for henholdsvis typiske sommer- og vintertemperaturer. Det er i TEMA2015 valgt at benytte disse typiske emissioner og tillægge hver tur uanset længde den samme gennemsnitlige Hot Soak-emission. Emissionerne er opdelt efter motorstørrelse, samt hvorvidt bilen er udstyret med kanister (ventilen som regulerer motorens fordampning), og i så fald hvilken størrelse kanister, der er tale om.. Af Tabel 3-11 fremgår Hot Soak-emissioner pr. tur.

Tabel 3-11 Udledning af Hot Soak (gram HC pr. tur)

Temperatur (°C)	Sommer		Vinter	
	23-35	10-22	0-13	-5-12
Pre Euro, tillæg ved kold motor				
< 1,4 l	8,48	5,09	3,75	2,63
1,4-2,0 l	10,01	6,01	4,42	3,10
> 2,0 l	12,29	7,38	5,43	3,80
Pre Euro, varm motor				
< 1,4 l	11,93	7,16	5,27	3,69
1,4-2,0 l	14,08	8,45	6,22	4,36
> 2,0 l	17,31	10,39	7,65	5,35
Euro 1-6				
< 1,4 l	0,10	0,07	0,04	0,04
1,4-2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04
> 2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

Running Loss

"Running Loss" er den fordampning fra motor og indsprøjtningssystem, der finder sted under kørslen. For ældre biler udstyret med karburator og/eller "fuel

return systems", øges temperaturen i brændstoftanken og/eller karburatoren betydeligt, hvilket kan generere en stor mængde damp i tanken. For benzinbiler med brændstofindsprøjtning og "returnless fuel systems" påvirkes brændstofftemperaturen i tanken ikke af brug af motoren, og running loss er derfor meget begrænset for disse biler.

I COPERT er Running Loss ligesom Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde samt gennemsnitlige sommer- og vintertemperaturer, og det er valgt at tillægge hver tur i TEMA2015 den gennemsnitlige emission som følge af Running Loss. Disse emissioner fremgår af Tabel 3-12.

Tabel 3-12 Udledning af Running Loss (gram HC pr. tur)

Temperatur (°C)	Sommer		Vinter	
	23-35	10-22	0-13	-5-12
Pre Euro, tillæg ved kold motor				
< 1,4 l	1,84	1,11	0,81	0,53
1,4-2,0 l	2,15	1,30	0,95	0,67
> 2,0 l	2,62	1,58	1,15	0,81
Pre Euro, varm motor				
< 1,4 l	10,05	6,03	4,44	3,11
1,4-2,0 l	11,85	7,12	5,24	3,67
> 2,0 l	14,56	8,74	6,43	4,50
Euro 1-6				
< 1,4 l	0,13	0,08	0,06	0,04
1,4-2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04
> 2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

3.3 Beregningsgang

Nedenfor præsenteres et overblik over de formler, der benyttes til estimering af emissionerne i TEMA2015. Samtlige parameterværdier fremgår af dokumentationen til COPERT og kan eksporteres fra selve programmet⁸.

3.3.1 Totale emissioner

De totale emissioner fra personbiler beregnes efter formlen:

⁸ For yderligere information om COPERT, se lat.eng.auth.gr/copert

$$E^l = E_{HOT}^l + E_{COLD}^l + E_{EVAPORATION}^l \quad (1)$$

hvor E_{HOT}^l er emissioner fra kørsel med varm motor, E_{COLD}^l er yderligere emissioner fra kørsel med kold motor, og $E_{EVAPORATION}^l$ er emissioner som følge af fordampning fra bilens tank.

3.3.2 Emissioner fra varm motor

Emissionerne fra varm motor beregnes generelt som:

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC \quad (2)$$

hvor V er hastigheden og MC er korrektionsfaktoren for slitage.

Den hastighedsafhængige del beregnes som:

$$e_{HOT}^l(V) = (a + cV + eV^2)/(1 + bV + dV^2) \quad (3)$$

mens korrektionsfaktoren for slitage af benzin- og hybridbiler beregnes som:

$$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times M_{AGE} + B_{URBAN} \quad (\text{for } V \leq 19) \quad (4a)$$

$$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times M_{AGE} + B_{ROAD} \quad (\text{for } V \geq 63) \quad (4b)$$

$$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V-19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44} \quad (19 < V < 63) \quad (4c)$$

hvor M_{AGE} er kilometerstanden. For kilometerstande over 120.000 km for Euro 2 og tidligere samt kilometerafstande over 160.000 km fra og med Euro 3 antages der ikke at ske yderligere forringelser af katalysatoren.

3.3.3 Koldstartstillæg

Koldstartstillæget beregnes som efter følgende formel:

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1) \quad (5)$$

hvor bc angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1, β angiver andelen af turen, der påvirkes af koldstart, e_{HOT} er den varme emission, V er hastigheden i opvarmningsperioden, og t er den omgivende temperatur.

β beregnes ved hjælp af formlen:

$$\beta = 0,6474 - 0,02545 \times M_{trip} - (0,00974 - 0,000385 \times M_{trip}) \times t \quad (6)$$

hvor M_{trip} er antallet af kilometer, inden motoren er opvarmet, og t er den omgivende temperatur.

3.3.4 Fordampningstab

Fordampningstabet pr. tur beregnes som:

$$E_{EVAPORATION} = e_{HS} + e_{RL} \quad (7)$$

hvor e_{HS} er Hot Soak-emission og e_{RL} er Running Loss-emission.

Såvel e_{HS} som e_{RL} afhænger af den omgivende temperatur, bilens motorstørrelse og hvorvidt bilen er udstyret med kanister og i givet fald i hvilken størrelse. I Tabel 3-11 og Tabel 3-12 er gengivet en oversigt over de anvendte værdier af Hot Soak og Running Loss.

3.3.5 Partikelemissioner fra benzinbiler

I COPERT opgøres partikelemissioner fra benzinbiler for tre typer af kørsel:

- Bykørsel
- Kørsel på landevej
- Motorvejskørsel

Til brug for TEMA2015 er der på baggrund af disse tal estimeret en køremønsterafhængig kurve, således at partikelemissionerne for benzinbiler kan beregnes ud fra køremønstrehastigheden på samme måde som de øvrige emissioner.

3.4 Kilder

3.4.1 Litteratur

COPERT IV: Dokumentation, data download fra hjemmeside og parameterestimer fra COPERT software.

European Environment Agency (2013): COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport - Users Manual.

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

3.4.2 Internet

<http://www.emisia.com/copert/>

Danmarks Statistik: www.statistikbanken.dk

Dieselnet: www.dieselnet.com

<http://www.hbefa.net/e/index.html>

4 Busser

Emissioner og energiforbrug for en rejse med bus beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km.

4.1 Oversigt

I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønstre. Endvidere er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Bustype (bybus eller turistbus)
- Godkendelsesnorm
- Brændstoftype
- Afstand (udgangspunkt og destination)
- Kørselens fordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier
- Belægning, dvs. antal personer i bussen.

Belægningen indgår både i beregningen af bussens samlede emissioner, samt ved beregning af resultater pr. personkilometer.

Bustyper

I TEMA2015 er der inkluderet dieseldrevne og gasdrevne busser. Busserne er grupperet efter Euro godkendelsesnormer samt efter bustype og egenvægt, jf. Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Bustyper fordelt på egenvægt

Bustype	Egenvægt
Bybus	< 15 ton
	15-18 ton
	> 18 ton
Turistbus	< 18 ton
	> 18 ton

Afstand

TEMA2015 bruger samme vejnet som for personbiler til beregning af afstanden mellem to lokaliteter samt til fordelingen på kørsel mellem land/by og vejtype. Disse standardværdier skal ses som et groft skøn, da busser ikke kører den korteste vej, men efter en rute, der er fastlagt af andre hensyn. I PETRA (1997) er det beregnet, at en bus typisk kører 13 procent længere end en bil, der kører den hurtigste vej. Dertil kommer yderligere en strækning, idet der kan være en afstand fra såvel udgangspunkt som destination til de nærmeste stoppesteder.

Beregningen er dog baseret på samme metode som for personbiler for at give brugeren en indikation af den korteste vejafstand mellem de valgte lokaliteter, men det er op til brugeren at vurdere den konkrete afstand for bussens faktiske rute.

Vejtyper

Den kørte distance er, som for den øvrige vejtrafik, fordelt på de fire vejtyper:

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

Køremønster

Bussens køremønster repræsenteres som for biler ved en gennemsnitlig rejsehastighed, dvs. den gennemsnitlige hastighed inkl. standsninger ved stoppesteder. På grund af de hyppige stop ved stoppesteder, særligt i byområder, er den gennemsnitlige hastighed relativt lav. I Tabel 4-2 angives denne gennemsnitlige hastighed for hver af vejtyperne i TEMA2015.

Tabel 4-2 Default rejsehastigheder for busser, km/t

	By	Land
Motorvej	80	80
Øvrige veje	20	50

Brugeren kan finjustere køremønstrene for hver af disse vejtyper ved direkte at specificere andre rejsehastigheder end TEMAs defaultværdier.

Belægning

I modsætning til personbiler medregnes belægning ved selve emissionsberegningen. Passagererne i bussen gør bussen tungere, hvorved bussen bruger mere energi og udsender flere emissioner.

Tabel 4-3 Årlig belægningsgrad i busser, antal personer pr. bus

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Rutebusser	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Turistbusser	18,1	17,9	17,8	17,6	17,4	17,5	17,5	17,3

Kilde TEMA2010.

Ifølge opgørelser fra Danmarks Statistik er belægningen for rutebusser uændret og dermed 8,2 personer per bus til og med 2010. Der er ikke tilgængelige data efter 2010.

Default belægning

På baggrund af ovenstående er det valgt at fastholde default belægningen i busserne i TEMA2015 på samme niveau som i 2010, hvilket er 8,2 personer i rutebusser og 17,3 personer i turistbusser.

Tabel 4-4 Vægt og kapacitet for busser

	Totalvægt (ton)	Maksimale antal passagerer
Bybus	16	45
Turistbus	24	54

Kilde: TEMA2010.

Den maksimale belægning varierer meget i de forskellige busser, og i bybusser er antallet af siddepladser ofte reduceret for at give plads til et større antal ståpladser, som kan udnyttes i myldretiden. Det betyder, at en bus, der er helt fyldt med passagerer, i de fleste tilfælde vil have flere passagerer end de 45, der her er nævnt som maksimum.

Hvor EU-standarder for personbiler og varevogne udtrykker emissionsforholdene i gram pr. kørt kilometer, bruges der for dieseldrevne busmotorer i stedet specifikke mål; dvs. emissioner i forhold til det mekaniske arbejde, som motoren leverer. Enheden er normalt gram pr. kilowatt-time (g/kWh).

Testcykel for Euro I og II

Som nøgleemissionstal for busmotorerne benyttes for Euro I og Euro II testcyklen ECE R-49, der er en standardvægtning af 13 *modes*. Denne vægtning bruges til at sammenligne motorer indbyrdes og til at vurdere den enkelte motortype i forhold til gældende grænseværdier. Det skal bemærkes, at de 13 *modes* alle er konstante belastningssituationer.

Testcykler for Euro III, IV, V og VI

Fra og med Euro III testes motorerne i stedet efter testcyklerne ESC, ELR samt ETC.

ESC

ESC (European Stationary Cycle) består af 13 *modes*, samt en vægtning, og som i ECE R-49-cyklen er de forskellige *modes* konstante belastninger. Det bemærkes, at de 13 *modes* samt tilhørende vægte i ESC ikke er identiske med ECE R-49.

ELR

ELR (European Load Response) består af fire køremønstre med forskellige kombinationer af hastighed og udnyttelse af lastekapacitet, og testen benyttes til at måle udstødningsrøgens uigennemsigthed.

ETC

ETC (European Transient Cycle) består af tre dele, der repræsenterer et typisk køremønster henholdsvis i by, på landeveje og på motorveje. Køremønstrene er baseret på studier og målinger af faktisk kørsel.

Godkendelsesnormer I Tabel 4-5 og Tabel 4-6 ses godkendelsesnormerne for busser.

Tabel 4-5 Godkendelsesnormer for busser, g/kWh

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	HC	NO _x	PM	Røg
Euro I ¹⁾	10.1993	4,5	1,1	8,0	0,36 ³⁾	
Euro II ¹⁾	10.1996	4,0	1,1	7,0	0,25	
	10.1998	4,0	1,1	7,0	0,15	
Euro III ²⁾	10.2001	2,1	0,66	5,0	0,10	0,8 ⁴⁾
Euro IV ²⁾	10.2006	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5 ⁴⁾
Euro V ²⁾	10.2009	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5 ⁴⁾
Euro VI ²⁾	01.2014	1,5	0,13	0,4	0,01	

1) Testet med ECE R-49

2) Testet med ESC samt ELR.

3) Restriktionen på PM er 0,612 for < 85kW.

4) Estimering af udstødningsrøg indgår ikke i TEMA2015

Kilde: EU-direktiver, www.dieselnet.com, en.wikipedia.org.

Tabel 4-6 Godkendelsesnormer for busser, ECT-test, g/kWh

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	NMHC	NO _x	PM
Euro III	10.2001	5,45	1,6	5,0	0,16
Euro IV	10.2006	4,0	0,55	3,5	0,03
Euro V	10.2009	4,0	0,55	2,0	0,03
Euro VI	01.2014	4,0	0,16	0,4	0,01

Kilde: EU-direktiver, www.dieselnet.com, en.wikipedia.org.

4.2 Analyse

I TEMA2015 er det lagt til grund, at der skal grupperes efter godkendelsesnormer. I TEMA2015 er det, som i TEMA2010, valgt at benytte COPERT 4 som kilde til beregningerne. COPERT 4 er et softwareprogram til estimering af luftforurening fra vejtransport, og er finansieret af the European Environment Agency. COPERT er bl.a. baseret på MEET-projektet, COST 319, PARTICULATES-projektet samt ARTEMIS-projektet, og datagrundlaget udgøres således af en lang række emissionsmålinger.

Den seneste version af COPERT omfatter godkendelsesnormer for diesel- og gasdrevne busser til og med Euro VI.

Det bemærkes, at de totale emissioner for busser alene udgøres af varme emissioner, dvs. at der ikke beregnes koldstartstillæg, da busser normalt kun koldstartes én gang om dagen. Endvidere beregnes der ikke påvirkning af slitage, da det antages, at antallet af kørte kilometre ikke påvirker busmotorens effektivitet, idet bussen i højere grad end personbiler løbende vedligeholdes.

4.2.1 Varme emissioner

De varme emissioner beregnes for dieseldrevne busser som:

$$E^l = e_{HOT}^l(V)$$

hvor $e_{HOT}^l(V)$ er emissionsfaktoren beregnet ud fra hastigheden.

Formlen for $e_{HOT}^l(V)$ er forskellig afhængig af bustype, godkendelsesnorm samt belægningsgrad. De benyttede formler kan ses i COPERT IV version november 2013.

Udledningen af SO₂ og CO₂ beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

4.2.2 Biobrændstoffer

Emissioner for biodiesel- og biogasbusser beregnes ud fra de emissionsfunktioner der anvendes for diesel hhv. gasbusser i COPERT. Dog beregnes CO₂ emissioner og opstrøms emissioner på baggrund af Energistyrelsens Alternative Drivmiddel model, version oktober 2014.

Der er tre typer af CO₂ effekter fra busser på biobrændstoffer:

- Emissioner fra udstødningen
- Emissioner fra frembringelse af brændstof
- Fortrængning af CO₂ emissioner fra biobrændstoffer (F.eks.undgået metan fra gylle)

For at sidestille konventionelle busser med busser der kører på biobrændstoffer regner modellen således, at når man ikke medregner opstrøms emissioner, så medregner modellen alle de emissioner der kommer ud af udstødningsrøret uanset om der er tale om biobrændstoffer eller konventionelle brændstoffer. Når der medregnes opstrøms emissioner medregnes både emissioner fra udstødning, emissioner fra frembringelse af brændstof og fortrængning af CO₂ emissioner. Den følgende tabel illustrerer hvad der regnes med til opstrøm.

Tabel 4-7 Beregning af samlede CO₂ emissioner (gram CO₂/MJ)

	Diesel 2014,	Biodiesel 1. gen	Biodiesel 2. gen	CNG	Bio gas
Fra udstødningsrør	74.0	74.0	74.0	56.7	56.7
Upstream	8.9	10.1	-93.0	6.2	-111.5
I alt	82.9	84.1	-19.0	62.9	-54.8

4.2.3 Koldstart og fordampningsemissioner

Der beregnes ikke koldstartstillæg for busser, da busser normalt kun koldstartes én gang om dagen, og et eventuelt koldstartstillæg derfor ville betyde meget lidt for de samlede emissioner.

Endvidere beregnes der ikke fordampningsemissioner, da ingen af de inkluderede busser er benzindrevne.

4.2.4 Passagertal

Bussernes passagertal influerer på energiforbrug og emissioner på to måder. For det første vil busser med få passagerer forventes at skulle stoppe ved færre stoppesteder end busser som er halvt eller helt fyldte, hvilket skulle give et mere jævnt køremønster med mindre energiforbrug. For det andet betyder flere passagerer en vægtforøgelse og deraf følgende effektbehov ved acceleration, og dermed større energiforbrug og emissioner.

Den første af de to virkninger er ikke undersøgt, men er delvist inddraget i TEMA2015 via den gennemsnitlige hastighed for hvert køremønster. Brugeren har mulighed for at vælge en hurtigere eller langsommere gennemsnitshastighed, og kan derved simulere en rejse med færre eller flere standsninger undervejs.

Den anden virkning - vægtforøgelsens direkte indflydelse - indgår i COPERT, og er derfor medtaget som en brugerparameter i TEMA2015.

Belægningsgraden er i TEMA2015 default sat til 18 procent for bybusser og 32 procent for turistbusser, men brugeren har mulighed for at justere dette. Det er valgt at give mulighed for at angive en belægningsgrad over 100 procent for at afspejle fuld udnyttelse af kapaciteten inkl. ståpladser.

Til beregning af energiforbrug og emissioner ved en bestemt belægningsgrad beregnes værdierne for en belægningsgrad på henholdsvis 0 procent, 50 procent og 100 procent af bussens kapacitet, hvorefter den aktuelle værdi findes ved lineær interpolation mellem talsættene. Det forudsættes med andre ord, at der er tale om en lineær sammenhæng mellem vægt og energiforbrug/emissioner.

4.3 Beregningsgang

Emissionerne for dieseldrevne busser beregnes ved hjælp af lineær interpolation mellem belægningsgraderne 0 procent, 50 procent og 100 procent.

Emissionerne afhænger af hastighed, bustype, godkendelsesnorm samt belægningsgrad, og beregnes ved brug af formlerne nævnt i tidligere afsnit.

Udledningen af SO₂ samt CO₂ beregnes som nævnt på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

4.4 Kilder

4.4.1 Litteratur

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

Copert IV (2013) version November 2013

4.4.2 Internet

Danmarks Statistik: www.statistikbanken.dk

Dieselnet: www.dieselnet.com

<http://www.emisia.com/copert/>

5 Persontog

Energiforbrug og emissioner for persontog beregnes i TEMA2015, på samme måde som i TEMA2010, for en række forskellige togtyper. De samme fysiske faktorer, som påvirker emissionerne for TEMAs andre transportformer, har også indflydelse på tog, f.eks. køre-/standsemønstre, transporteret vægt og motorteknologi.

5.1 Oversigt

Togtyper

Persontogene i TEMA2015 opdeles i regionaltog, intercitytog, lyntog, S-tog og metro, og underopdeles endvidere i de togtyper, der fremgår af Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Togtyper i TEMA2015.

Togtype (litra)	Fremdrift	Metro	S-tog	Regional	Intercity	Lyntog	I drift	Type
EA	elektrisk			*			1984	lokomotiv
ER (IR4)	elektrisk			*	*		1995	togsæt
IC3	diesel			*	*	*	1989	togsæt
IC4	diesel				*	*	2008	togsæt
ME	dieselektrisk			*			1981	lokomotiv
MR	diesel			*			1978	togsæt
MQ	diesel			*			2002	togsæt
ET (Øresundstog)	elektrisk			*			2000	togsæt
X10/11 (Pågatåg) ¹⁾	elektrisk			*			n.a.	n.a.
SA-D (S-tog 8 vogns)	elektrisk		*				1996	togsæt
Metro	elektrisk	*					2002	togsæt

1) Mellem Malmö og Ystad af hensyn til Bornholmstrafikken efter åbning af Øresundsforbindelsen.

Regionaltog har kort distance mellem stationerne og standser derfor ofte, mens Intercity standser færre gange. Lyntog standser kun i de største byer og har dermed længst mellem stationerne. Et øget antal stationer på en given togrute øger antallet af accelerationer, og dermed energiforbruget og emissionerne. Til gengæld kører lyntog med højere hastighed end de øvrige tog, hvilket resulterer i øget energiforbrug. Opdelingen i regional, intercity og lyntog med tilhørende standsemønstre svarer dermed til køremønstre for biler.

For S-tog kan der vælges mellem tog med mange stop og gennemkørende tog, mens metroen alene har et enkelt køremønster. Det kunne tænkes, at metroen har forskellige gennemsnitlige rejsehastigheder afhængigt af, om den kører over eller under jorden, men dette er ikke medtaget, da der ikke har været mulighed for at differentiere metroens emissioner afhængigt af køremønstre.

Stationer

Der kan køres mellem 213 stationer på DSB's hovedbaner, regionalbaner og lokalbaner (herefter kaldet HRL-nettet), jvf. Figur 5-1. Endvidere er Malmø og Ystad inkluderet for at kunne sammenligne en rute til Bornholm gennem Sverige med de nuværende Bornholmsfærger. De 213+2 stationer udgør samtidig en del af de mulige fra- og til-byer for andre transportmidler, så brugeren kan sammenstykke en tur bestående af f.eks. en bildeltur til en station og en togdeltur herfra.

I TEMA er indlagt information om, hvilke togtyper der betjener hver station. Brugeren vælger togtype, og TEMA giver de mulige stationer. Omvendt kan brugeren også vælge fra- og til-station, hvorefter TEMA angiver de mulige togtyper her imellem.

Det er nødvendigt at definere en deltur for hver togtype, brugeren vælger. Hvis brugeren f.eks. vil fra Helsingør til Sønderborg, helst med lyntog, skal denne tur opdeles i en deltur med regionaltog til København, en deltur med lyntog til Lunderskov, og en sidste deltur med regionaltog til Sønderborg.

Bemærk, at TEMA2015 giver mulighed for at tage et regionaltog hele vejen fra Helsingør til Sønderborg i en deltur, selvom turen i praksis foretages med en række togsift undervejs.

Figur 5-1 HRL-nettet opdelt i segmenter.



Note: Segmentender er vist med sort prik

Banestrækninger og segmenter

HRL-nettet er inddelt i 42 segmenter, som angivet i Tabel 5-9 og vist i Figur 5-1, hvor de sorte prikker angiver segment ender, og såvel sorte som hvide prikker er stationer i TEMA. Inddelingen er foretaget således, at nettet er opdelt i sammenhængende strækninger, som ikke forgrener sig eller skifter status fra f.eks. hoved- til regionalbane. Til hvert segment er knyttet en by- og landprocent, som er andelen af segmentet, som ligger i hhv. by- og landzone med henblik på at kunne fordele dieselemmissionerne mellem by og land.

De elektriske togtyper (EA, ER, ET) kører naturligvis kun, hvor der er opsat kørestrømsledninger, hvilket gælder strækningerne København H / Helsingør, København H / Sønderborg, samt København H / Kastrup.

Til beregning af længden af en rejse med S-tog benyttes en afstandstabel, der angiver den korteste skinneafstand mellem ethvert muligt par af S-togs stationer. Tilsvarende benyttes en afstandstabel for metroen over skinneafstanden mellem metrostationerne.

I Figur 5-2 ses S-togsnettet.

Figur 5-2 S-togsnettet



I Tabel 5-2 ses de S-togstationer, der kan rejses imellem.

Tabel 5-2 S-tog stationer i TEMA2015

Albertslund	Friheden	KB-Hallen	Solrød Strand
Allerød	Fuglebakken	Kildebakke	Sorgenfri
Avedøre	Gentofte	Klampenborg	Stengården
Bagsværd	Glostrup	København H	Stenløse
Ballerup	Greve	Køge	Svanemøllen
Bernstorffsvej	Grøndal	Langgade	Sydhavn
Birkerød	Hareskov	Lindevang	Tåstrup
Bispebjerg	Hellerup	Lyngby	Valby
Brøndby Strand	Herlev	Malmparken	Vallensbæk
Brøndbyøster	Hillerød	Måløv	Vangede
Buddinge	Holte	Nordhavn	Vanløse
Charlottenlund	Hundige	Nørrebro	Veksø
Danshøj	Husum	Nørreport	Vesterport
Dybbølsbro	Hvidovre	Ordrup	Vigerslev Allé
Dyssegård	Høje Tåstrup	Peter Bangsvej	Virum
Ellebjerg	Ishøj	Ryparken	Værløse
Emdrup	Islev	Rødovre	Ølby
Enghave	Jersie	Sjælør	Ølstykke
Farum	Jyllingevej	Skovbrynet	Østerport
Flintholm	Jægersborg	Skovlunde	Ålholm
Frederikssund	Karlsunde	Solbjerg	Åmarken

Der kan rejses mellem de 22 metrostationer på linie M1 og M2 som angivet i Tabel 5-3.

Tabel 5-3 Metrostationer i TEMA2015

Amager Strand	Femøren	Kongens Nytorv	Vanløse
Amagerbro	Flintholm	Lergravsparken	Vestamager
Bella Center	Forum	Lindevang	Ørestad
Christianshavn	Frederiksberg	Lufthavnen	Øresund
DR Byen	Islands Brygge	Nørreport	
Fasanvej	Kastrup	Sundby	

TEMA2015 sammenstykker automatisk den korteste segmentrækkefølge mellem fra-station til til-station. Dette har særligt betydning, hvor der er flere alternative ruter mellem fra- og til-stationen. Hvis brugeren ønsker en anden rute-lægning, må det vælges manuelt ved at opdele turen i delture.

Hvis fra-station ikke er en segmentende, har TEMA indlagt afstanden fra fra-station til første segmentende på ruten og beregner automatisk den forholdsmæssige del af det første segment, der skal medtages. Tilsvarende for til-stationen.

Belægningsgrader

TEMA's belægningsgrader er opgjort for:

- Lyntog fordelt på segmenter
- Regional- og intercity fordelt på segmenter
- S-tog (samlet)
- Metro (samlet)

For lyntog, regionaltog, intercitytog samt S-tog angiver belægningsgraderne, hvor mange procent af togets sæder, der i døgngennemsnit er optagede. For metroen angiver belægningsgraden, hvor stor en andel af metroens oplyste passagerkapacitet, dvs. både stå- og siddepladser, der i døgngennemsnit er optagede.

Brugervalg

Brugeren har mulighed for at specificere:

- Togtype: Regional, intercity, lyntog, S-tog eller metro.
- Til- og fra-station
- Togtype (litra)
- Afstand
- Fremtidige teknologier for IC3, IC4, MQ, ICE TD, ME og MR
- Belægningsgrader

TEMA2014 sammensætter ruten, således at den primært foregår med brugerens foretrukne togtypevalg, f.eks. Intercity, og de steder, hvor der ikke kører Intercitytog, køres der i stedet med regionaltog.

5.2 Analyse

Energi

Der benyttes en konvention om, at bruttoenergiforbrug angives i MJ. Dette er for dieseltogenes vedkommende brændværdien af det dieselbrændstof, der forbruges. Energiforbrug for elektriske tog måles på toget eller på en omformerstation. For at omregne fra målt energiforbrug til bruttoenergiforbrug på kraftværket anvendes en omregningsfaktor, som kan ses i kapitel 13.1.

Målinger

I Tabel 5-4 ses nøgletal for diesel- og eltogs energiforbrug og emissioner. Disse er målt flere forskellige steder i landet, men der haves ikke måledata for alle strækninger. I stedet for at prøve at tilrette måledata for en strækning, så de gælder for en anden, har DSB valgt at lave et gennemsnit af nøgletallene, som er gældende for alle strækninger (for hver togtype).

Tabel 5-4 Energi- og emissionsnøgletal for diesel- og eltog.

Togtype	Elforbrug kWh _M /plkm	Energi MJ/plkm	CO ₂ g/plkm	CO g/plkm	HC g/plkm	NO _x g/plkm	SO ₂ g/plkm	Partikler g/plkm
MR / Reg		0,241	17,813	0,071	0,037	0,274	0,0001127	0,01466
MQ / Reg		0,228	16,871	0,047	0,018	0,135	0,0001068	0,00249
IC3 / Reg		0,219	16,213	0,012	0,006	0,091	0,0001026	0,00080
IC4 / Reg		0,252	18,645	0,014	0,006	0,105	0,0001180	0,00092
ER / Reg	0,024							
ET / Reg	0,025							
ME / Reg		0,286	21,133	0,065	0,017	0,421	0,0001338	0,01378
EA / Reg	0,020							
IC3 / IC		0,184	13,618	0,009	0,004	0,077	0,0000862	0,001
IC4 / IC		0,212	15,661	0,010	0,005	0,089	0,0000991	0,001
ER / IC	0,019							
IC3 / Lyn		0,220	16,243	0,010	0,004	0,095	0,0001028	0,001
IC4 / Lyn		0,252	18,680	0,011	0,005	0,110	0,0001	0,00083

Kilde: DSB.

Note: For eltog opgøres emissioner som konstant faktor pr. kWh gange el-emissioner. plkm=pladskm.

Emissioner, diesel

Energiforbrug og emissioner for DSB's diesellokomotiver er blevet målt af Motorteknik- afdelingen ved DTI Energi i 1994, med supplerende målinger for MZIV og ME i maj-juni 1998. Målingerne er udført efter ISO 8178 standarden for forbrændingsmotorer, som ikke anvendes i vejtrafikken. Ved målingerne

blev anvendt DSB's standardbrændstof, Statoil miljødiesel med et maksimalt svovlindhold på 0,05 procent.

Resultatet af DTI's energimålinger blev en række grundtal for energiforbrug og emissioner af NO_x, HC, CO og partikler (TSP) fordelt på togtyper og køretrin. Køretrin svarer til driftspunkter for dieselmotorerne. Disse grundtal har DSB kombineret med data fra togenes havarilog, som registrerer en tidsserie af køretrin for de sidste 3-6 dage toget har kørt.

Siden emissionsmålingerne er DSB gået over til at anvende diesel med et svovlindhold på 10 ppm i stedet for 500 ppm, og emissionstallene fra målingerne er i forbindelse med opdateringen af TEMA blevet reguleret af DSB, således at de er i overensstemmelse med brug af den nye dieseltpe.

For IC3 og IC4's vedkommende overholder togenes motorer Euro III-normen for lastbiler. Emissionstallene for IC3-tog stammer fra en kombination af motorproducentens målinger af emissioner og en antagelse om motorens belastning. Det bemærkes, at motorens belastningsfordeling antages identisk med belastningen af IC3-togens tidligere motorer, idet der ikke foreligger data vedrørende den faktiske belastningscyklus for de nuværende motorer.

Grundtal for emissioner fra IC4 er beregnet på baggrund af IC3-togens målinger, men er af DSB opskaleret i forhold til vægtforskellen mellem togene.

Tog af typen MQ, der primært kører på Svendborgbanen, er udstyret med en motor, der overholder Euro II-normen for lastbiler. Emissioner fra MQ er estimeret af DSB på baggrund af norm, energiforbrug samt en antaget virkningsgrad.

Nye teknologier og brændstof

DSB planlægger at foretage en række tiltag, der vil reducere emissioner fra fremtidens tog. Bl.a. undersøges løbende muligheden for at udstyre togene med filtre eller katalysatorer, der kan mindske emissionerne. TEMA2015 anvender samme materiel og metode for DSB tog som i TEMA2010.

For at kunne tage højde for de fremtidige teknologier er der i Tabel 5-5 angivet en række af DSB's estimater for, hvor meget disse tiltag vil reducere de forskellige emissionstyper.

Tabel 5-5 Procentvise reduktioner for de 6 emissionstyper afhængigt af togtype og reduktionstiltag

Litra	Reduktionstype	CO ₂ *	CO	HC	NO _x	SO ₂	Partikler
IC3	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
IC3	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %
IC4	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
IC4	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %
MQ	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
MQ	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %
ME	oxiderende katalysator	-	80-95 %	80-95 %			60 %
ME	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
MR	oxiderende katalysator	-	80-95 %	80-95 %			30-40 %
MR	filter + oxidations katalysator	-	80-95 %	80-95 %			80-95 %
MR	Filter + SCR (UREA)	0-10 %	80-95 %	80-95 %	70-90 %		80-95 %

Den gennemsnitlige togstørrelse, som vist i Tabel 5-6, er beregnet af DSB på basis af DSB's realiserede kørsel i 2007.

Tabel 5-6 Pladser (kapacitet) i tog.

Togtype	Antal vogne/ togsæt pr. tog	Pladser pr. tog
MR	1	132
MQ	1	114
IC3	1	151
IC4	1	205
ER	1	227
ET	2	506
ME	5	360
EA	9	680

IC3 Intercity	2	302
IC4 intercity	4	203
ER intercity	2	466
IC3 lyntog	2	302
IC4 lyntog	4	203

Kilde: DSB.

Belægningsgrader HRL-togenes belægningsgrader er baseret på udtræk for 2008 foretaget af DSB.

Tabel 5-7 Belægning i HRL-tog.

Togtype	Belægningsgrad
Regionaltog	32,9%
Intercitytog	54,1%
Lyntog	64%
Øresundstog	39,8%

Kilde: DSB.

Emissioner, elektriske tog

Nøgletal for energiforbrug for alle elektriske togtyper angives som nettoenergiforbrug (kWh_M) leveret til kørestrømsnettet. I de tilfælde, hvor målingerne er foretaget i selve toget, er der tillagt et kørestrømstab på 5 procent.

Energiforbruget inkluderer el til opvarmning og belysning, men ikke el til f.eks. drift af stationer og skakte. For de togtyper, som er i stand til at regenerere energi (IR4, ET, S-tog og metro) i forbindelse med bremsning, er denne energimængde fratrukket forbruget.

Energiforbruget for el-drevne tog er i TEMA identisk på alle strækninger med samme togtype og køremønster under antagelse af, at energiforbruget er upåvirket af f.eks. med- og modvind, der antages at opveje hinanden. Dette gælder også metroen, der tilskrives samme energiforbrug, uanset om den kører over eller under jorden.

I Tabel 5-8 ses elforbrug samt passagerdata for S-tog og metro.

Tabel 5-8 Elforbrug og passagerdata for S-tog og metro

Togtype	kWh/togkm	belægning	Kapacitet, siddepladser
Stog	7,97	24,2%	336
Metro	3,75	63,9%	96

Kilde: DSB samt Metroselskabet og Danmarks Statistik.

Note: Værdierne er inkl. et forventet kørestrømstab på 5%. De 7,97 kWh per togkm for S-tog angiver det samlede elforbrug for S-tog divideret med det samlede antal tog km og er beregnet ud fra DSB's Miljørapport og Årsrapport 2008. DSB oplyser, at dette elforbrug inkluderer et elforbrug (tab ved stilstand). Når der ses bort fra dette tab er forbruget per togkm 6,5 kWh per km. Trafikstyrelsen oplyser at den faktiske belægningsgrad i et konkret S-tog i praksis er ca. 10% højere på grund af nedformering af tog og andre omstændigheder.

Belægningsgrader

Belægningsgraderne for S-tog er opgjort på et overordnet plan, hvor der beregnes en årlig gennemsnitlig belægningsgrad for hele S-togstrafikken ud fra data fra Danmarks Statistik. Ifølge Danmarks Statistik var der 15.833.000 togkm og 1286 mio passagerkm i 2013. Hvis der antages 336 pladser per tog giver det en belægningsgrad på 24,2%. Det er en stigning i forhold til TEMA2010 hvor der var en belægningsgrad på 21,1%. Denne belægningsgrad kan korrigeres for at tage hensyn til nedformering mv. Når belægningsgraden korrigeres for dette stiger belægningsgraden til ca. 26%. Default belægningsgrad i TEMA2015 er sat til 24,2%.

Belægningsgraderne for metro opgøres kun på et overordnet plan, hvor der beregnes en årlig gennemsnitlig belægningsgrad for hele metro trafikken. Det samlede antal passagerkilometre oplyses af Danmarks Statistik, det samlede antal pladskilometre udregnes på baggrund af data fra Danmarks Statistik kombineret med antagelse om pladser per tog. Ifølge Danmarks Statistik var der 4.648.000 togkm og 285 mio passagerkm i 2013. Hvis der antages 96 pladser per tog giver det en belægningsgrad på 63,9%. Det er en stigning i forhold til TEMA2010 hvor der var en belægningsgrad på 44,2%.

Passagerbelægning inkluderes ikke ved selve emissionsberegningen, da der estimeres emissioner på baggrund af togenes energiforbrug med en gennemsnitlig belægningsgrad, og det i øvrigt antages, at energiforbruget ikke afhænger af antallet af passagerer. Belægningen har derimod betydning for de passagerspecifikke forbrugs- og emissionsestimater.

Brugeren har mulighed for selv at ændre belægningsgraden, såfremt rejsen tænkes foretaget i perioder med større eller mindre belægning.

Det bemærkes, at det faktiske passagertal i særligt belastede perioder kan være højere end den oplyste kapacitet, idet kapaciteten for alle andre tog end metro antages at svare til antallet af siddepladser, mens kapaciteten for metroen svarer

til det af Metroselskabet oplyste maksimale passagertal. Det er i TEMA ikke muligt at definere en belægningsgrad for persontog, der overstiger 100 procent af siddepladserne.

Til brug for TEMA's sammensætning af segmenter til en togrute, er de typiske togtyper for hvert segment og hver produkttype blevet opgjort i Tabel 5-9. Med typisk forstås den togtype, der har den højeste afgangsfrekvens på segmentet.

Lyntog betjenes af IC3 og IC4, mens Intercitytog betjenes af IC3, IC4 og ER. Det er valgt at give brugeren mulighed for at vælge mellem ER, IC3 og IC4 på de ture, hvor hele Intercity-segmentfølgen er elektrificeret.

Regionaltog er på samme måde blevet opgjort med afgangsfrekvens på segmentet som kriterium for typisk tog. Det er kun muligt at køre fra en togstation til en anden togstation med regionaltog, hvis turen kan gøres uden at skifte regionaltogstype undervejs. Hvis der er flere valgmuligheder præsenteres disse for brugeren. Det typiske regionaltog på fra-segmentet vælges som typisk for hele ruten.

Tabel 5-9 Strækningslængder og by/land fordeling for HRL-nettet.

Segment	Segment-Ende1	Segment-Ende2	Længde (Km)	By (%)	Land (%)	Typisk Regionaltog	Typisk Intercitytog	Typisk Lyntog
1	Ålborg	Frederikshavn	84,9	23	77	MR		IC3
2	Ålborg	Langå	94,1	31	69	MR	IC3	IC3
3	Århus H	Grenå	68,9	34	66	MR		
4	Århus H	Langå	45,8	33	66	MR	IC3	IC3
5	Struer	Langå	102,4	24	76	Arriva	IC3	
6	Struer	Thisted	73,6	16	84	Arriva	IC3	
7	Struer	Holstebro	15,5	24	76	MR	IC3	IC3
8	Holstebro	Herning	41,2	28	72	MR	IC3	IC3
9	Herning	Skjern	40,7	30	70	Arriva		
10	Holstebro	Skjern	71	11	89	Arriva		
11	Skjern	Esbjerg	59,9	30	70	Arriva		
12	Esbjerg	Bramming	16,4	42	58	MR	IC3	IC3
13	Bramming	Lunderskov	39,3	22	78	MR	IC3	IC3

14	Bramming	Tønder	64	17	83	Arriva		
15	Lunderskov	Tinglev	62,5	20	80	MR	IR4	IR4
16	Lunderskov	Fredericia	32,8	35	65	MR	IR4	IR4
17	Fredericia	Vejle	25,7	23	77	MR	IC3	IC3
18	Herning	Vejle	73	19	81	MR	IC3	IC3
19	Herning	Skanderborg	71,2	23	77	Arriva		
20	Skanderborg	Vejle	60	33	67	MR	IC3	IC3
21	Skanderborg	Århus H	22,8	43	57	MR	IC3	IC3
22	Fredericia	Odense	60,3	30	70	MQ	IC3	IC3
23	Odense	Svendborg	48,2	31	69	MQ		
24	Odense	Nyborg	28,7	27	73	IR4	IC3	IC3
25	Nyborg	Korsør	23	0	100	IR4	IC3	
26	Korsør	Ringsted	44,4	23	77	IR4	IC3	
27	Ringsted	Roskilde	32,6	24	76	IR4	IC3	
28	Ringsted	Næstved	26,8	16	84	IC3		
29	Næstved	Nykøbing F	56,2	23	77	IC3		
30	Nykøbing F	Rødby	36,3	6	94	IC3		
31	Nykøbing F	Gedser	23	17	83	IC3		
32	Næstved	Køge	39	29	71	MR		
33	Køge	Roskilde	22,4	40	60	MR		
34	Roskilde	København H	31,3	79	21	IC3	IC3	
35	København H	Helsingør	46,2	67	33	ETS		
36	København H	Malmø	25	75	25	ETS	ETS	
37	Malmø	Ystad	80	10	90		ETS	
38	Hillerød	Helsingør	24,4	45	55	Lokalbane		
39	Tinglev	Sønderborg	41,2	24	76	IR4	IR4	IR4

40	Kalundborg	Holbæk	43,5	24	76	ME		
41	Holbæk	Roskilde	35,8	30	70	ME		
42	Padborg	Tinglev	14,4	22	78	MR		
43	Kastrup	København H	11,6			ETS	IC3	
44	Kastrup	Roskilde	42,9			IR4	IC3	

Kilde: DSB

Note: Arriva betjener sine segmenter med MQ litra, Hillerød-Helsingør betjenes med litra ML

5.3 Beregningsgang

Beregningsgangen i TEMA2015 for emissioner for en passagertur er givet ved nedenstående formler. Brugeren vælger fra- og til-station samt togtype, hvorefter TEMA beregner emissionerne opdelt på land/by.

Table 5-10 Variable og index

Variabel	Forklaring	Enhed
E^P	Emission pr. person	[g/p]
E^E	Emission pr. el energiforbrug	[g/kWh]
e^K	Emission pr. pladskm	[g/plkm]
q	Energiforbrug pr. km	[kWh/km]
K^P	Kapacitet i transportmidlet	[antal sæder]
B	Belægningsprocent	[%]
D	Distance	[km]
G	By, land eller motorvejsandel	[%]
l	Emissionstype	CO ₂ , CO, HC, NO _x , SO ₂ ,
i	Fra	Stationer
j	Til	Stationer
t	Transportmiddeltype	Togtyper
g	Geografi	Land, by
S	Segment eller strækning	{1,...,42}

Formler

Princippet i beregningerne er, at enhver deltur ses som en samlet transport, dvs. at det samlede persontransportarbejde og emissioner summeres over en række af segmenter og danner baggrund for beregning af emissioner pr. personkm.

Denne fremgangsmåde giver et gennemsnitligt antal personer på en given tur vægtet med strækningslængder og togkapacitet, men vær opmærksom på, at emissioner pr. person ikke er additivt over en segmentrækkefølge.

$$e_{g,l}^P(i, j) = \frac{\sum_s e_{t(s),l}^K K_{t(s)} D_s G_{s,g}}{\sum_s B_{s,t(s)} K_{t(s)} D_s}$$

hvor $s \in$ korteste vej $i \rightarrow j$ og $t \in$ diesel togtype

$$e_{g,l}^P(i, j) = \frac{\sum_s E_l q_{t(s)}^K K_{t(s)} D_s G_{s,g}}{\sum_s B_{s,t(s)} K_{t(s)} D_s}$$

hvor $s \in$ korteste vej $i \rightarrow j$ og $t \in$ elektrisk togtype.

Togtypen $t(s)$ afhænger af segmentet og angiver den typiske togtype for hvert segment.

I avancerede indstillinger benytter TEMA ikke den geografiske fordeling af belægningsgraderne.

For S-tog og metro benyttes formlen:

$$e_l^P(i, j, t) = \frac{E_l^E q_t}{K_t^P B_t}, t \in \{S - \text{tog}, \text{metro}\}$$

Bemærk, at eltog pr. definition forurener i landzone, jf. kapitel 13.1.

Når i og j ligger midt på segmenter, beregner TEMA den forholdsmæssige del af start- og slutsegmenterne på ruten, dvs. D_s ganges med den procentdel af segmentet, som strækningen fra segmentende til i eller j udgør.

5.4 Kilder

5.4.1 Litteratur

DSB (2008): Miljørapport og Årsrapport

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2010.

Metroselskabet (2009): *Miljørapport 2008/2009*.

Danmarks Statistik 2013

5.4.2 Internet

Metro: www.m.dk

Statistikbanken.dk

6 Færger til passagertransport

6.1 Oversigt

Færgetransporten er i konstant udvikling. Det betyder, at færger flyttes rundt mellem forskellige ruter. På Sjællands Odde-Ebeltoft sejler i dag to nye kataranførger, Kat Expres 1 og 2 samt Max mols. Der sejler ikke længere konventionelle færger over Storebælt.

Der er endvidere medtaget en række færgeruter til og fra de små øer. Dette udgør ca. halvdelen af de små færgeruter i Danmark. Det er skønnet, at de ruter, der er inkluderet i modellen, giver et geografisk dækkende billede, samtidig med at de repræsenterer et bredt udvalg af rutelængder og mindre færgestørrelser i Danmark. De færgeruter og færgeruterne til og fra de små øer er illustreret i de følgende tabeller.

Tabel 6-1 Færger og ruter i TEMA2015 og deres årlige transport i 2013

Færgetype	Passagerkm per år (1000)	Andel
Hurtig indenrigs	120375	42%
Rønne ystad	90186	31%
Små færger	76222	27%

1) Kilde: Danmarks Statistik

De tilgængelige færgeruter er vist i tabellen nedenfor.

Tabel 6-2 Færge ruter i TEMA2015

Hurtig	Rønne-Ysted	H/F Leonora Christine
Hurtig	Rønne-Ysted	H/F Villum Clausen
Hurtig	Sjællands Odde-Aarhus	Kat expres 1
Hurtig	Sjællands Odde-Aarhus	Kat expres 2
Hurtig	Sjællands Odde-Ebeltoft	Max Mols

Konventionel		Højestene
Konventionel	Aarø-Aarøsund	Aarø
Konventionel	Assens-Baagø	Baagøfærgen
Konventionel	Ballebro-Hardeshøj	Bitten Clausen
Konventionel	Bandholm-Askø	Askø
Konventionel	Bøjden-Fynshav	M/F Frigg Sydfy- en (1984)
Konventionel	Bøjden-Fynshav	M/F Odin Sydfy- en (1982)
Konventionel	Branden-Fur	Mjølner
Konventionel	Branden-Fur	Sleipner-Fur
Konventionel	Esbjerg-Fanø	Menja
Konventionel	Fåborg-Avernakø-Lyø	Fåborg III
Konventionel	Fåborg-Søby	Skjoldnæs
Konventionel	Feggesund overfart	M/F Feggesund
Konventionel	Fejð-Kragenæs	Christine
Konventionel	Femø-Kragenæs	Femø Sund
Konventionel	Frederikshavn-Læsø	Ane Læsø
Konventionel	Frederikshavn-Læsø	Magrete Læsø
Konventionel	Grenaa-Anholt	Anholt
Konventionel	Hals-Egense	Hals-Egense
Konventionel	Havnsø-Sejerø	Nekseløfærgen
Konventionel	Havnsø-Sejerø	Sejerøfærgen
Konventionel	Holbæk-Orø	Orø
Konventionel	Horsens-Endelave	MF Endelave
Konventionel	Hov-Samsø	MF Kanhave

Konventionel	Hov-Tunø	MF Tunøfærgen
Konventionel	Hundested-Rørvig	Isefjord
Konventionel	Hvalpsund-Sundsøre	Mary
Konventionel	Kalundborg-Samsø	MF Kyholm
Konventionel	Kleppen-Venø	Venø Færgen
Konventionel	Næssund overfart	Næssund
Konventionel	Rudkøbing-Strynø	Strynboen
Konventionel	Søby-Fynshav	Skjoldnæs
Konventionel	Stignæs-Agersø	Agersø Færgen
Konventionel	Stignæs-Omø	Omø
Konventionel	Stubbekøbing-Bogø	MF IDA
Konventionel	Svendborg-Ærøskøbing	Ærøskøbing
Konventionel	Tårs-Spødsbjerg	Langeland
Konventionel	Tårs-Spødsbjerg	Lolland
Konventionel	Thyborøn-Agger	MF Kanalen

Brugerparametrene for de definerede færger er ikke ændret væsentligt i forhold til den tidligere version af TEMA. De brugerspecificerede parametre for disse færger vil således være:

- Færgen/ruten
- Ombordstigningsform, dvs. bil, bus eller landgangspassager
- Evt. færgens belægning i antal biler, busser og landgangspassagerer
- Evt. belægningen i bil eller bus
- Omfang af godstransport målt som personbilækvivalenter (pbe)

For de færger, som brugeren selv definerer, skal der desuden specificeres følgende parametre:

- Færgetypen; dvs. konventionel færge, hurtig katamaranfærge eller hurtig enkeltskrogsfærge fremdrevet med dieselmotorer eller gasturbiner
- Turlængde
- Personbilkapacitet
- Evt. sejlhastighed i knob

6.2 Analyse

I dette afsnit præsenteres først de forudsætninger som danner baggrund for de fordefinerede færger. I afsnit 6.2.4 beskrives forudsætningerne for de brugerdefinerede færger.

6.2.1 Energiforbrug

Energiforbruget beregnes efter samme metode som er anvendt i NERI (2009)⁹. Tabellen nedenfor viser baggrundsdata på de tilgængelige færgeruter i TEMA2015. Her beregnes færgernes brændstofforbrug beregnes som:

Brændstofforbrug = kW * Minutter/60 * Belastning * Brændstof per kWh.

Baggrundsdata til denne beregning af energiforbruget er vist i den følgende tabel.

Tabel 6-3 Beregning af energiforbrug på tilgængelige færgeruter i TEMA2015

Færgenavn	Årgang	Motor-effekt (kW)	Overfartstid	Belastning	g brændstof per kWh
Askø	1993	452	23	80	208
Baagøfærgeren	1976	250	29	80	216
Sleipner-Fur	1996	458	5	80	201
Mjølner	2011	772	5	80	190
M/F Frigg Sydfyen (1984)	1984	840	50	80	226
M/F Odin Sydfyen (1982)	1982	840	50	80	229
Max Mols	1996	28320	55	80	211
Menja	1997	1618	12	80	208
M/F Feggesund	2012	736	6	80	190
Fåborg III	2012	772	25	80	190
Anholt	2003	1290	150	80	200
Hals-Egense	1961	294	4	80	229
Bitten Clausen	2001	602	8	80	190
Mary	2006	662	10	80	190
Sejerøfærgeren	1998	1274	55	80	206
Nekseløfærgeren	1993	465	55	80	208
Orø	2003	746	29	80	190

⁹ Annual danish informative inventory report to unece, NERI 2009

MF Endelave	1996	1276	55	80	211
MF Tunøfærgeren	1993	420	55	80	208
MF Kanhave	2008	4680	60	80	200
Isefjord	2011	736	25	80	190
MF Kyholm	1998	2800	110	80	206
Venø Færgeren	2010	512	4	80	190
Venø Færgeren	2010	512	4	80	190
Christine	2002	740	15	80	190
Femøssund	1996	618	50	80	201
Næssund	1964	154	5	80	227
H/F Villum Clausen	2000	36000	80	80	200
H/F Leonora Christine	2011	36400	80	80	200
Omø	2003	746	50	80	190
Agersø Færgeren	2012	772	15	80	190
Strynboen	1966	205	29	80	225
MF IDA	1959	154	12	80	230
Højestene	1997	748	75	80	198
Skjoldnæs	2001	420	60	80	190
Skjoldnæs	2001	420	70	80	190
MF Kanalen	1975	280	10	80	217
Langeland	2012	3496	45	80	200
Lolland	2012	3496	45	80	200
Magrete Læsø	1995	2940	90	80	214
Ane Læsø	1995	1770	90	80	214
Ærøskøbing	1999	2040	75	80	203
Kat expres 1	2009	36000	70	80	200
Kat expres 2	2013	36000	70	80	200
Aarø	1998	480	8	80	196

6.2.2 Emissioner

Emissionerne beregnes herefter på baggrund af energiforbrug, motortype og årgang efter de emissionsfunktioner der er anvendt i rapporten fra NERI 2009.

Tabel 6-4 Anvendte emissionsfaktorer

Færgenavn	NOx (g/kWh)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM10 (g/kWh)
Askø	12.1	1.6	0.5	1.9
Baagøfærgen	16.4	1.6	0.5	2.0
Sleipner-Fur	12.6	1.6	0.5	1.8
Mjølner	12.0	1.6	0.5	1.7
M/F Frigg Sydfyen (1984)	10.9	1.6	0.5	2.1
M/F Odin Sydfyen (1982)	10.7	1.6	0.5	2.1
Max Mols	11.5	1.6	0.5	0.2
Menja	11.7	1.6	0.5	0.2
M/F Feggesund	12.0	1.6	0.5	1.7
Fåborg III	12.0	1.6	0.5	1.7
Anholt	11.0	1.6	0.5	0.2
Hals-Egense	15.1	1.6	0.5	2.1
Bitten Clausen	12.0	1.6	0.5	1.7
Mary	12.0	1.6	0.5	1.7
Sejerøfærgen	11.8	1.6	0.5	0.2
Nekseløfærgen	12.1	1.6	0.5	1.9
Orø	12.0	1.6	0.5	1.7
MF Endelave	11.5	1.6	0.5	0.2
MF Tunøfærgen	12.1	1.6	0.5	1.9
MF Kanhave	11.0	1.6	0.5	0.2
Isefjord	12.0	1.6	0.5	1.7
MF Kyholm	11.8	1.6	0.5	0.2
Venø Færgen	12.0	1.6	0.5	1.7
Venø Færgen	12.0	1.6	0.5	1.7
Christine	12.0	1.6	0.5	1.7
Femø Sund	12.6	1.6	0.5	1.8
Næssund	15.3	1.6	0.5	2.1
H/F Villum Clausen	11.0	1.6	0.5	0.2
H/F Leonora Christine	11.0	1.6	0.5	0.2
Omø	12.0	1.6	0.5	1.7

Agersø Færgen	12.0	1.6	0.5	1.7
Strynboen	15.5	1.6	0.5	2.1
MF IDA	14.9	1.6	0.5	2.1
Højestene	12.7	1.6	0.5	1.8
Skjoldnæs	12.0	1.6	0.5	1.7
Skjoldnæs	12.0	1.6	0.5	1.7
MF Kanalen	16.4	1.6	0.5	2.0
Langeland	11.0	1.6	0.5	0.2
Lolland	11.0	1.6	0.5	0.2
Magrete Læsø	11.4	1.6	0.5	0.2
Ane Læsø	11.4	1.6	0.5	0.2
Ærøskøbing	11.9	1.6	0.5	0.2
Kat expres 1	11.0	1.6	0.5	0.2
Kat expres 2	11.0	1.6	0.5	0.2
Aarø	12.9	1.6	0.5	1.8

Det fremgår, at de dieseldrevne hurtigfærger har emissionsfaktorer nogenlunde på niveau med de konventionelle færger, da begge skibstyper normalt fremdrives af hhv. "high speed" og "medium speed" motorer.

Det antages, at alle færger sejler på svovlfattigt brændstof (svarende til diesel).

I Tabel 6-5 ses de brændstofafhængige emissionskoefficienter fra TEMA2015.

Tabel 6-5 Emissionskoefficienter (g/Kg brændstof) fra diesel i TEMA2015

Emission	Diesel
S (%)	0,1
SO ₂ (g/kg brændstof)	2
Partikler (g/kg brændstof)	0,9

Kilde: Annual danish informative inventory report to unece, Emission inventories from the base year of the protocols to year 2007, NERI 2009

De anvendte emissionsfaktorer gælder for stationære forhold under normal sejlads. Ved bl.a. manøvrering og acceleration arbejder motorerne under varierende belastning, hvor der kan forekomme store variationer i emissionsfaktorerne i forhold til de viste. Emissionerne pr. MJ vil generelt være højere ved manøvre-

ring end ved almindelig sejlads, således at emissionsfaktorerne teoretisk set burde være højere ved en kort sejlads end ved en lang. Der er imidlertid set bort fra denne forskel i TEMA2015 ligesom i de tidligere versioner.

6.2.3 Belægningsgrader og personbilækvivalenter

Belægningsgraderne er blevet opdateret med data fra Danmarks Statistik for 2013. For de små færges er der anvendt gennemsnitlige belægningsgrader. Der er forholdsvis ensartede belægningsgrader på de små færges, hvorfor dette er en rimelig antagelse.

Belægningsgraderne danner baggrund for fordeling af emissioner og energiforbrug på transportmidler, passagerer og gods. Der er forskel på de belægningsgrader, der fås ved at betragte vogndækskapaciteten og passagerkapaciteten. For at opgøre energiforbruget og emissionerne konsistent er det valgt at tage udgangspunkt i vogndæksbelægningsgraderne, og herefter dele forbruget ud på forskellige transportmidler og passagerer via personbilækvivalenter. Det betyder, at energiforbruget pr. passager, ikke nødvendigvis stemmer overens med det energiforbrug pr. passager, man ville få, hvis man betragtede den rene passagerbelægning i forhold til passagerkapaciteten. I Tabel 6-6 nedenfor viser de anvendte ækvivalenter.

Tabel 6-6 Personbilækvivalenter for færgernes kapacitet

	Konventionelle færges	Hurtigfærges
Gående ¹⁾	1/10	1/10
Personbil	1	1
Varebil	2	2
Bus	2,5	2,5
Lastvogne med anhænger	3,75	3,75
Lastvogne uden anhænger	2,4	2,4
Modulvogntog med forvogn (2009 -)	5,05	5,05
Modulvogntog uden forvogn (2009 -)	4,47	4,47
Sættevogne med forvogn	3,3	3,3
Sættevogne uden forvogn	2,72	2,72

1) Ækvivalenten for gående er baseret på en kapacitet på 25 passagerer i busser, som antages at være det mest realistiske alternativ til at være gående ombord. Ækvivalenter for gods er beregnet på baggrund af lastbilernes længde.

6.2.4 Brugedefinerede færger

Udover de færger, der i dag sejler på de ruter, der er med i TEMA2015, er der indlagt en delmodel, hvor brugeren selv kan definere sin egen færge. Denne model bygger på modelberegninger for de forskellige skibstyper (se Kristensen (2000)), der er omfattet af TEMA2015 og dokumenteret i bilagsrapport. Se bilagsrapporten Kristensen (2000) for yderligere information om brugerdefinerede færger.

Her skal blot nævnes, at delmodellen bygger på en statistisk analyse af færger, på hvilken baggrund der er opstillet sammenhænge mellem kapacitet, størrelse, fart og energiforbrug.

Delmodellen er integreret således, at de færger, brugeren selv definerer, kan indgå på lige fod med de færger, der allerede er i TEMA2015.

6.3 Beregningsgang

Beregningsgangen for energiforbruget knyttet til de forskellige transportmidler på den enkelte færge kan beskrives ved følgende formel:

$$q_t = q_{FÆRGE} \times \frac{N_t C_t}{\sum_t N_t C_t}$$

hvor q_t er energiforbruget pr. km for transportmiddel t , N_t er belægningen på færgen for transportmiddel t og C_t personbilækvivalenten for transportmiddel t .

Tilsvarende vil emissionen pr km være givet ved nedenstående formel:

$$e_t = I \times q_t$$

hvor I er den specifikke emissionsfaktor i g/MJ.

Beregningen af brugerspecificerede færgers energiforbrug fremgår af bilagsrapporten: Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag.

6.4 Kilder

6.4.1 Litteratur

Kristensen H. O. (2000): Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag. Bilagsrapport.

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

NERI (2009): Annual danish informative inventory report to unece, Emission inventories from the base year of the protocols to year 2007, DMU, Teknisk Rapport nr. 716, 2009

6.4.2 Internet

Danmarks Statistik: www.statistikbanken.dk

Hjemmesider fra rederier og færageselskaber.

Hjemmeside med færge data: ferrysite.dk

Register over danske skibe: <http://skibsregister.dma.dk>

Færgeruteafstande: Maps.google.dk

7 Fly

Beregning af energiforbrug og emissioner fra fly er mere kompliceret end for de andre transportformer, blandt andet fordi emissioner ikke blot afhænger af afstanden, men også hvor højt man flyver. På den anden side er der kun et begrænset antal aktuelle ture og et begrænset antal flytyper. Beregning af emissioner fra flytrafikken er ikke ændret siden TEMA2010.

7.1 Oversigt

TEMA2015 beregner energiforbrug og emissioner for indenrigsflyvninger mellem København (Kastrup) og provinslufthavnene.

Brugeren kan vælge følgende:

- Destination
- Flytype
- Passagerbelægning.

I Tabel 7-1 ses destinationerne og deres afstand fra Kastrup Lufthavn.

Tabel 7-1. Afstande på danske indenrigsruter.

Destination	Afstand til Kastrup (km)
Aalborg	227
Århus	150
Billund	209
Esbjerg	264
Karup	222
Rønne	158
Sønderborg	188

Kilder: SLV's hjemmeside, november 2009 samt www.cph.dk.

Alle provinslufthavne med ruteflyvning til og fra København er medtaget. Ruteflyvning til Anholt og Læsø, som betjenes med små fly med plads til 5-19 passagerer, og hvis samlede trafikarbejde er meget lille, medtages ikke.

Der er ikke mulighed for at vælge ruter på tværs - med andre ord er der kun medtaget ruter, der enten begynder eller slutter i København/Kastrup, herunder ruter med mellemlanding i Billund eller Århus. Dette er i overensstemmelse med de faktiske forhold.

Det er i TEMA2015 valgt at inkludere flytyper, der beflyver mindst 10 procent af en af de danske indenrigsruter, hvilke er følgende:

- ATR 42-500
- ATR 72-200
- Boeing 737-700
- CRJ-200
- MD-80, der er en fællesbetegnelse for typerne MD-81, -82 og -83
- Saab 340

Tabel 7-2 viser, hvilke af flytyperne der beflyver de forskellige indenrigsruter.

Tabel 7-2 Flytyper på danske indenrigsruter.

Destination	Flytyper					
	ATR 42-500	ATR 72-200	Boeing 737-700	CRJ-200	MD-80	Saab 340
Aalborg	X	x	X	x	x	-
Århus	X	x	-	x	x	-
Billund	X	x	-	x	-	-
Esbjerg	-	-	-	-	-	x
Karup	X	x	-	x	-	-
Rønne	X	x	-	x	-	x
Sønderborg	X	x	-	x	-	-

Kilde: SLV's hjemmeside

Af Tabel 7-3 fremgår de inkluderede flytyper samt antallet af sæder i flyet, og hvilken operatør der primært benytter flytypen. I Tabel 7-4 ses den gennemsnitlige belægningsgrad på ruterne i 2008. Belægningsgraden er beregnet på baggrund af planlagte rutefly, og vedrører alene passagerer på de flytyper, der er med i TEMA2015. Belægningsgraderne antages uændret siden 2008 og ses i Tabel 7-4 herunder.

Tabel 7-3 Flytyper, antal sæder og primær operatør på danske indenrigsruter

Flytype	Antal sæder	Primær operatør
ATR 42-500	50	Cimber Air
ATR 72-200	68	Cimber Air / SAS
Boeing 737-700	148	Sterling
CRJ-200	50	Cimber Air / SAS
MD-80	150	SAS
Saab 340	33	Danair

Kilder: SLV's hjemmeside, SAS' hjemmeside, Cimber Air's hjemmeside, Vataware's hjemmeside.

Tabel 7-4 Gennemsnitlig belægningsgrad på danske indenrigsruter, 2008

Rute	Gennemsnitlig belægningsgrad
Kastrup-Aalborg	61,2%
Kastrup-Århus	60,5%
Kastrup-Karup	59,0%
Kastrup-Billund	56,6%
Esbjerg-Billund	23,3%
Kastrup-Sønderborg	49,6%
Kastrup-Rønne	63,2%

Kilder: SLV's hjemmeside samt egne beregninger.

Den gennemsnitlige belægningsgrad benyttes i TEMA2015 ligesom i 2010 som standardindstilling for alle flytyper på en rute, uanset om de i praksis er indsat på den pågældende rute. Brugeren har i TEMA2015 mulighed for at ændre antallet af passagerer ombord på flyet op til en belægningsgrad på 100 procent.

Belægningsgraden indgår ikke som en parameter i selve emissionsberegningen, da estimering af energiforbrug og emissioner sker for en gennemsnitlig belægningsgrad, og antallet af passagerer ikke antages at påvirke flyets udledning af emissioner. Belægningsgraden indgår derimod i beregningen af personspecifikke emissioner.

7.2 Analyse

Flymotorer skal overholde "engine certification standards", der er emissionsnormer fastsat af ICAO. Normerne vedrører udledning af NO_x, CO, HC, brændstofforbrug (og dermed CO₂) samt røg, og beskrives detaljeret i ICAO's "Annex 16 - Environmental Protection, Volume II - Aircraft Engine Emissions". Standarderne er som udgangspunkt baseret på flyenes såkaldte LTO-cykluser (Lift-Take-Off).

En godkendt jetmotor skal være udstyret med et certifikationsark, hvor målebetingelserne og måleresultaterne er anført. Emissionstyperne NO_x, HC og CO er målt på de pågældende motorer i en prøvestand ved motorydelser svarende til tomgang/kørsel, start (fuld gas), stigning, marchflyvning og nedgang. Disse data er samlet i ICAO's Engine Exhaust Emissions Data Bank.

Af praktiske årsager findes der ikke målinger fra motorer i aktuel drift i stor højde, men der er opbygget en vis konsensus om, hvordan højden påvirker emissionsforholdene.

7.2.1 Forureningskilder og -segmenter

I forbindelse med flyvninger kan energiforbrug og emissioner opdeles på følgende kilder:

- APU (Auxiliary Power Unit)
- Tankning og andet fordampningstab
- Flymotorer

APU er oftest en mindre turbine, der yder strøm til motorstart samt diverse funktioner (f.eks. elektricitet, hydraulik, air condition), mens flyet er på jorden med slukkede motorer. APU bruges, når der ikke er andre mulige strømkilder, hvilket f.eks. kan være tilfældet, hvis flyet parkeres væk fra terminalbygningen. Dermed kan brugen af APU variere fra lufthavn til lufthavn.

Emissioner af kulbrinter ved tankning og fordampning i øvrigt medregnes ikke i TEMA2015, da mængden skønnes at være ubetydelig i relation til turens samlede emissioner.

Forbrug og emissioner fra motorerne er i den anvendte model inddelt i følgende segmenter:

- Motorstart (start-up)
- Kørsel til startposition (taxi out). Der forudsættes 8 minutters kørsel inkl. stop undervejs. Motorindstillingen svarer næsten til tomgang
- Startløbet (take-off). Dette varer regningsmæssigt 45 sekunder
- Stigning (climb) opdeles i yderligere segmenter:
 - stigning med omtrent fuld motorydelse af sikkerhedshensyn;
 - evt. stigning med lav motorydelse af støjhensyn;

- stigning med 450 km/t stigende til 550 km/t i 3000 m højde (10.000 fod) (jetfly)
 - stigning med 600-700 km/t jævnt stigende til 700-800 km/t i omkring 8000 m højde (27.000 fod) (jetfly)
 - og stigning med omkring M0,70 (0,7 x lydets hastighed, eller ca. 800 km/t) op til march-højden (jetfly); dette segment er ikke relevant for dansk indenrigsflyvning, fordi flyene ikke når at komme så højt op
 - stigning med 170-200 knobs fart op til march-højden (propelfly)
- Marchflyvning (cruise). Farten er her normalt 800 til 900 km/t for jetfly, og 450 til 550 km/t for propelfly
 - Nedgang (descent). Hastighedsprofilen er omtrent den samme som under stigning, bortset fra at turbopropflyene ofte går lidt hurtigere ned end op.
 - Landing (landing). Værdierne forudsætter brug af motorbremsning (thrust reverser). I Kastrup er motorbremsning begrænset til tomgangsreversering af støjhensyn
 - Kørsel til parkering (taxi in). Der forudsættes 8 minutters kørsel inkl. stop undervejs. Motorindstilling svarer næsten til tomgang.

Ved indenrigsflyvning med jetfly foregår flyvningen primært som op- og nedstigning, med kun et meget kort stykke vandret flyvning. Dette giver både den korteste rejsetid og det laveste brændstofforbrug.

7.2.2 Forudsætninger for beregning af brændstofforbrug og emissioner

Foruden brugervariabler, flytype og destination, er der en række faktorer, som har indflydelse på brændstofforbruget og emissionerne.

De forudsatte flyveprofiler, herunder flyvehøjde og marchfart, er bestemt ud fra oplysninger fra luftfartsselskaberne samt ud fra flyenes operationelle data og eventuelle luftrumsbegrænsninger. Energiforbrug og emissionsforhold er afhængige af flyvehøjden. For jetfly er den optimale flyvehøjde 9-11.000 meter, for turbopropfly 6-8.000 meter. Disse flyvehøjder opnås ikke ved indenrigsture i Danmark, og derfor består flyveprofilerne i høj grad af op- og nedstigning, og kun et kort stykke vandret flyvning.

Flyets startvægt har en vis betydning under stigning, lille betydning under marchflyvning og næsten ingen betydning under nedstigning.

Vindforhold, temperaturprofil og fugtighed har indflydelse på energiforbruget og emissionerne ved en konkret flyvning. I TEMA er der forudsat den internationale standardatmosfære (ISA), og ingen vind. Temperaturen i Danmark er generelt koldere end ISA, hvilket giver flyene bedre præstationer og lidt lavere brændstofforbrug. Til gengæld medfører vinden reelt en lille stigning i brændstofforbrug og emissioner. Der er ikke gjort forsøg på at korrigere for disse forhold.

Turbulens, nedbør, overisning og tilhørende modforanstaltninger øger energiforbruget. Vejrforholdene har også betydning for den fløjne distance, dels ved forekomst af tordenområder, der må flyves udenom, og fordi anflyvningsruterne ofte kan gøres mere direkte og dermed kortere i klart vejr end i usigtbart og skyet vejr. Der er ikke korrigeret for dette, og det skønnes, at disse forhold ikke har væsentlig indflydelse.

Forekomst af anden flytrafik i det efterspurgte luftrum kan medføre omveje og/eller restriktioner i flyvehøjde, og forskellige strategier fra piloternes og flyveledernes side kan også medføre betydelige forskelle. Til beregningerne er der taget udgangspunkt i skønnede typiske forhold.

7.2.3 Metodebeskrivelse

Flyenes emissioner er i TEMA2015 som i TEMA2010 baseret på data fra Emission Inventory Guidebook, der er udviklet af EMEP/CORINAIR, og udgør en guide til state-of-the-art med hensyn til metoder til estimering af atmosfæriske emissioner. Emission Inventory Guidebook bygger på data fra ICAO's Engine Exhaust Emissions Data Bank, samt data fra bl.a. MEET-projektet.

De to nyere flytyper: CRJ-200 og B737 700 er ikke med i Inventory Guidebook.

- CRJ-200 som er en mindre jet. Emissionerne for dette fly er beregnet af ICAO (Kilde: ICAO Carbon Emissions Calculator Version 2 May 2009, "Appendix C Modified CORINAIR fuel consumption table (regional jets added)).
- B737-700 er en forbedret udgave af B737-400. Baseret på en artikel på Internettet¹⁰ skønnes det, at B737-700 bruger 7 procent mindre energi og udleder 7% mindre emissioner sammenlignet med B737-400.

Emissions- og energiforbrugstallene fra Emission Inventory Guidebook drejer sig alene om emissioner fra flyenes motorer, og medtager derfor ikke emissioner, der udledes ved brug af APU. I "IPCC Special Reports on Climate Change"¹¹ skønnes det, at APU udgør ca. 2 procent af det forbrug, der bruges til fremdrift.

7.2.4 Fordeling af emissioner på land og by

For flyvninger er det ikke umiddelbart indlysende, hvordan opdeling af emissioner på land og by bedst foretages, men en nærmere analyse viser, at det er mest rimeligt at betragte alle emissioner som forekommende i landzone.

Følgende betragtninger indgår i vurderingen:

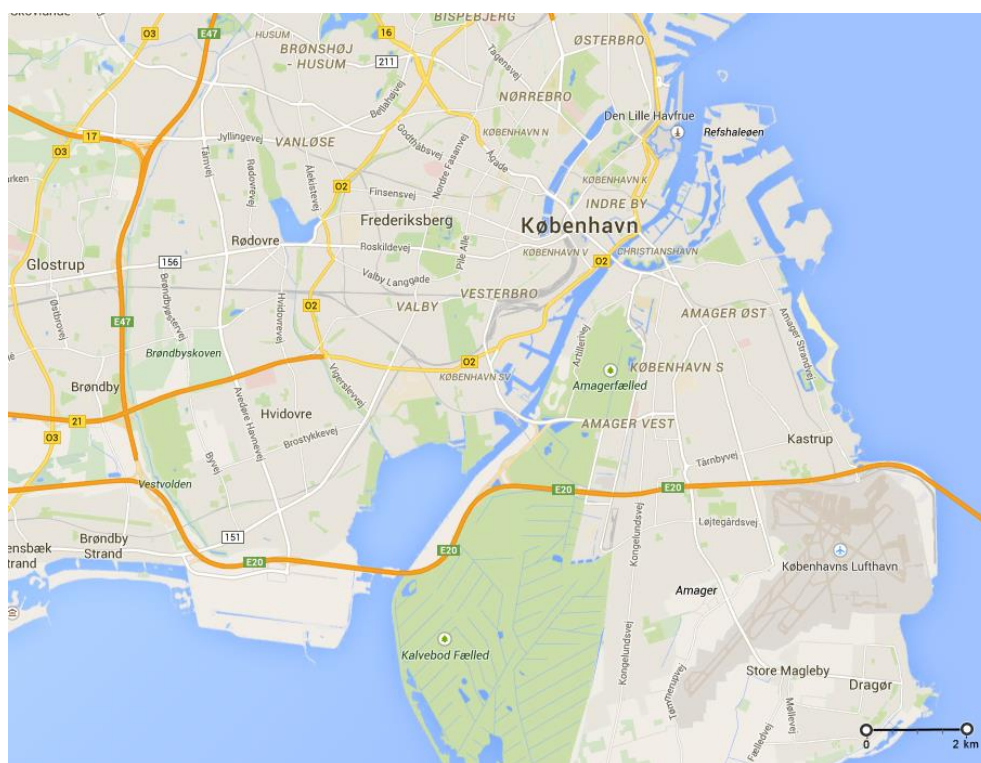
¹⁰ <http://www.boeing.com/boeing/commercial/737family/facts.page?>

¹¹ <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/127.htm>

- Den luftbårne del af flyvningen foregår så godt som udelukkende med en afstand til enhver bebyggelse, som er stor i forhold til landzonebebyggelses afstand til vejene.
- På-jorden-emissionerne forekommer i lufthavnene, som alle ligger uden for byzoner. Målinger af luftkvaliteten i boligområderne nær Kastrup Lufthavn har ikke vist væsentlige bidrag, der kan føres tilbage til flyenes emissioner. Da Kastrup både er den største danske lufthavn og desuden er omgivet af byzonomæssig bebyggelse i større grad end de andre lufthavne, må emissionsforholdene omkring de øvrige lufthavne antages at være mindre alvorlige.

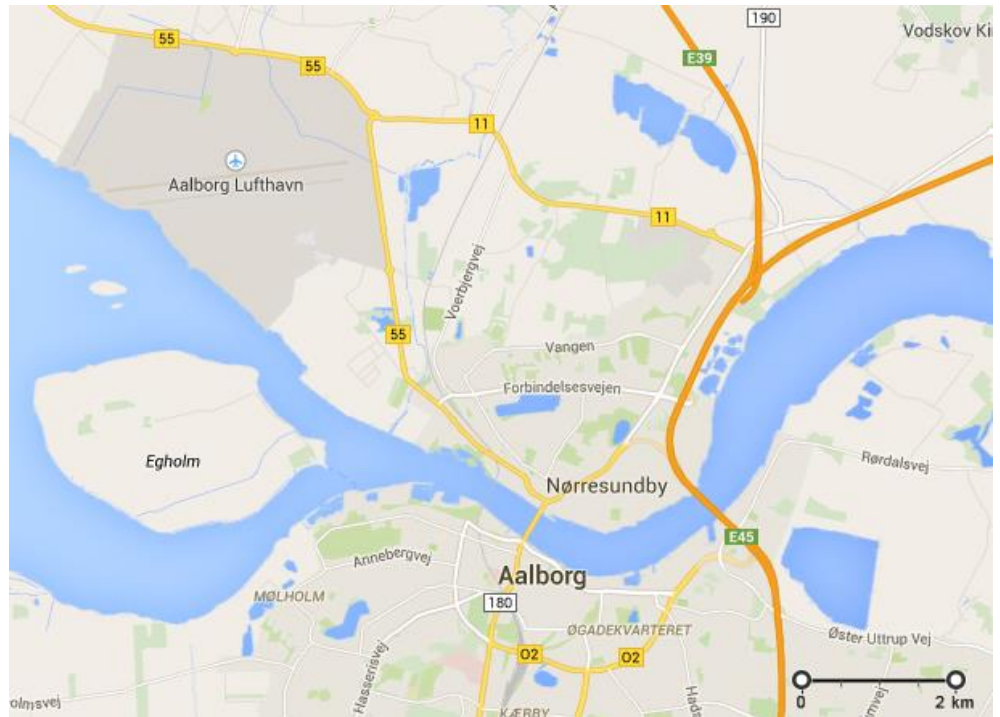
Herunder ses Københavns Lufthavn, Kastrup, og dens placering i forhold til bymæssig bebyggelse (vist med grå nederst til højre). Brug af tværbanen, der peger mod nordvest ind over byen, er underlagt restriktioner. Der er 8 km i luftlinie mellem Københavns Lufthavn og Københavns Hovedbanegård i centrum af København.

Figur 7-1 Placering af Københavns Lufthavn



Herunder ses Aalborg Lufthavn og dens placering i forhold til bymæssig bebyggelse (vist med grå øverst til venstre). Der er 6,5 km i luftlinie mellem Aalborg Lufthavn og centrum af Aalborg.

Figur 7-2 Placering af Aalborg Lufthavn



Flyveveje til og fra lufthavne er af støjhensyn reguleret sådan, at de ikke passer tæt bebyggelse i lav højde. Én af Kastrups seks baner medfører ved landing mod østsydøst og ved start mod vestnordvest at flyene passer tæt bebyggelse i lav højde. Disse operationer er underlagt skrappe restriktioner og bruges kun under særlige vindforhold samt i nødsituationer.

7.3 Beregningsgang

Brændstofforbruget udtrykkes som en funktion af den øjeblikkelige hastighed (March-tallet (M)), flyvehøjde (h) og motorbelastning (ps).

De samlede emissioner af hver forureningstype beregnes ved brug af følgende formel:

$$E_i = N \times \int bf(M_t, h_t, ps_t) \times e_i(ps_t) dt$$

hvor N = antal motorer, bf = det aktuelle brændstofforbrug pr. sekund pr. motor, e_i = emissionsfaktoren for hhv. HC, CO, NO_x, M = den aktuelle hastighed, angivet som March-tallet, h = den aktuelle flyvehøjde og ps = motorbelastningen i % i forhold til fuld belastning.

Indekset i er hhv. HC, CO og NO_x, mens t er tiden, der løber fra start til slut af flyveturen, inkl. taxitid i afgang- og ankomstlufthavn.

7.4 Kilder

7.4.1 Litteratur

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport.

EMP/CORINAIR (2006): Emission Inventory Guidebook - 2006. Technical report No 11/2006.

International Civil Aviation Organization: Annex 16, Volume 2, "Aircraft Engine Emission Certification"

7.4.2 Internet

Boing (2014):

<http://www.boeing.com/boeing/commercial/737family/facts.page?>

Cimber Air: www.cimber.dk

International Civil Aviation Organization (ICAO): www.icao.int

ICAO Carbon Emissions Calculator Version 2 May 2009, "Appendix C Modified CORINAIR fuel consumption table (regional jets added)"

IPCC Special Reports on Climate Change - Complete online versions, Ground-Based Aircraft Emissions, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/127.htm>

Københavns Lufthavne: www.cph.dk

SAS: www.sas.dk

Statens Lufthavnsvæsen (SLV): www.slv.dk

8 Varebiler

Kategorien varebiler indeholder kassevogne, minibusser og autocampere, der alle vejer under 3,5 ton.

Emissioner og energiforbrug for en transport med varebil beregnes med udgangspunkt i den kørte distance multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km. I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønster. I alt er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Godkendelsesnorm
- Kørselens fordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed inden for hver af disse kategorier
- Motorslitage (kilometerstand)
- Koldstarter
- Udetemperatur
- Belægning, dvs. bilens last

Sidstnævnte indgår kun i beregningen af resultaterne pr. tonkilometer, og altså ikke i beregningerne af de samlede emissioner for turen.

8.1 Oversigt

Ligesom for personbiler beregner TEMA2015 energiforbrug og emissioner for varebiler mellem 687 destinationer i Danmark. Hvis der vælges udgangspunkt og destination, beregner programmet selv afstanden og kørselsfordeling på by, land og motorvej på baggrund af standardindstillinger for en række forudsætninger¹². Derudover kan brugeren selv specificere afstande, fordeling på forskellige vejtyper, rejsehastigheder, belægning, temperatur samt kilometerstand.

Godkendelsesnorm

Normer for varebilers emissioner er relateret til typegodkendelsen, og er løbende blevet skærpet, hvilket bevirker, at nyere biler generelt har lavere emissionsfaktorer end gamle.

For både benzin- og dieselvarebiler kan der vælges mellem følgende godkendelsesnormer:

¹² Der henvises til særskilt afsnit om vejafstande i kapitlet "Opbygning af modellen" samt til kapitlet om personbiler for en mere udførlig beskrivelse.

- Pre Euro
- Euro 1
- Euro 2
- Euro 3
- Euro 4
- Euro 5
- Euro 6

Tabel 8-1 og Tabel 8-2 viser de fastsatte normer for benzin- og dieselvarebilers emissioner, samt ikrafttrædelsesdatoer for de enkelte Euro-normer. Ikrafttrædelsesdatoen angiver, fra hvilken dag alle nye varebiler, der sælges, skal overholde grænseværdierne.

Tabel 8-1 Normer for benzindrevne varebilers emissioner, g/km

	I kraft	CO	HC	NOx	Partikler
≤ 1.305 kg					
Euro 1	10.1995	2,72	0,97 ¹		-
Euro 2	01.1999	2,2	0,50 ¹		-
Euro 3	01.2001	2,3	0,20	0,15	-
Euro 4	01.2006	1,0	0,1	0,08	-
Euro 5	01.2011	1,0	0,10	0,06	0,005
Euro 6	09.2015	1,0	0,10	0,06	0,005
1.305-1.760 kg					
Euro 1	10.1995	5,17	1,40		-
Euro 2	01.1999	4,0	0,65		-
Euro 3	01.2002	4,17	0,25	0,18	-
Euro 4	01.2007	1,81	0,13	0,10	-
Euro 5	01.2012	1,8	0,13	0,075	0,005
Euro 6	09.2016	1,8	0,13	0,075	0,005
1.760-3.500 kg					
Euro 1	10.1995	6,90	1,70		-
Euro 2	01.1999	5,0	0,80		-
Euro 3	01.2002	5,22	0,29	0,21	-
Euro 4	01.2007	2,27	0,16	0,11	-
Euro 5	01.2012	2,27	0,16	0,082	0,005
Euro 6	09.2016	2,27	0,16	0,082	0,005

1) Emissionsgrænserne gælder for HC+NO_x.

Kilde: EU-direktiver, www.dieselnet.com

Tabel 8-2 Normer for dieseldrevne varebilers emissioner, g/km

	I kraft	CO	HC+NO _x	NO _x	Partikler
Euro 1	10.1995	2,72	0,97	-	0,14
Euro 2	01.1999	1,0	0,70	-	0,08
Euro 3	01.2001	0,64	0,56	0,50	0,05
Euro 4	01.2006	0,50	0,30	0,25	0,025
Euro 5	01.2011	0,50	0,23	0,18	0,005
Euro 6	09.2015	0,50	0,17	0,08	0,005
1.305-1.760 kg					
Euro 1	10.1995	5,17	1,40	-	0,19
Euro 2	01.1999	1,25	1,0	-	0,12
Euro 3	01.2002	0,80	0,72	0,65	0,07
Euro 4	01.2007	0,63	0,39	0,33	0,04
Euro 5	01.2012	0,63	0,295	0,235	0,005
Euro 6	09.2016	0,63	0,195	0,105	0,005
over 1700 kg					
Euro 1	10.1995	6,90	1,70	-	0,25
Euro 2	01.1999	1,5	1,20	-	0,17
Euro 3	01.2002	0,95	0,86	0,78	0,10
Euro 4	01.2007	0,74	0,46	0,39	0,06
Euro 5	01.2012	0,74	0,350	0,280	0,005
Euro 6	09.2016	0,74	0,215	0,125	0,005

Kilde: EU-direktiver, www.dieselnet.com

Afstanden kan specificeres direkte eller ved at angive, hvor man ønsker at komme fra og til. Hvis man specificerer udgangspunkt og destination, beregner TEMA2015 selv afstanden mellem de to lokaliteter. For en nærmere beskrivelse af vejafstande, se Kapitel 3.

Afstanden er opdelt på vejtyperne:

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

Køremønstre

Til hver vejtype hører en rejsehastighed. I Tabel 8-3 ses modellens default-værdier, dvs. det standardvalg, der ligger i modellen. Disse værdier er fastsat på baggrund af undersøgelser/målinger af hastigheder samt ekspertskøn.

Tabel 8-3 Default rejsehastigheder for varebiler

	By	Land
Motorvej	110	120
Øvrige veje	30	70

Køremønstret er karakteriseret ved en gennemsnitshastighed, der er resultatet af den variable kørehastighed og antal stop. Køremønstre med lav hastighed er derfor ensbetydende med mange stop og dermed større energiforbrug og emissioner end "jævne" køremønstre med middelhøje gennemsnitshastigheder.

Belægning

I TEMA kan brugeren selv angive en belægning (last). Belægningen har ikke indflydelse på de beregnede samlede energiforbrug og emissioner, kun på de belægningsspecifikke forbrugs- og emissionstal. De specificerede varebiler har en default lasteevne på 2 ton og en default belægningsgrad på 50 procent.

Man vil normalt ikke anvende varebiler til decideret varetransport. Derfor er det valgt at fastsætte default last til samme vægt som default mængde tons transporteret. Derved opnås, at brugeren ved at anvende default værdier får beregnet emissionerne fra én varebil.

Koldstart

Som default tillægges ingen koldstart, idet det antages, at varebiler kører mange ture hver dag, hvorfor det mest almindelige er, at motoren er varm, når der startes på en tur. Brugeren kan selv ændre dette, f.eks. for den første tur på en given dag.

Temperatur

Den omgivende temperatur har betydning for, hvor stor effekt koldstarten har. Derimod indgår temperaturen ikke i beregningen af emissionerne fra varm motor.

Udetemperaturen er default sat til 8,5 °C, hvilket er den gennemsnitlige temperatur i Danmark, vægtet med antallet af ture på forskellige tider af døgnet¹³. Dette kan ændres til en temperatur for en specificeret måned, eller specificeres direkte af brugeren.

Slitage

Ligesom for personbiler medregnes alene slitage for benzinbiler med katalysator.

Effekten af slitage skyldes en forringet effekt af katalysator og/eller den automatiske regulering i takt med, at bilen ældes (kilometerstand). TEMA2015 beregner en default slitage, der svarer til den forventede kilometerstand for en bil af den pågældende alder. På baggrund af data fra COPERT VI er der beregnet følgende forventede kilometerstand for de forskellige Euro normer.

¹³ Se kapitel om øvrige data for en nærmere beskrivelse af beregningen og temperaturforhold på forskellige tider af døgn og år.

Tabel 8-4 Forventet kilometerstand fordelt på godkendelsesnorm, varebiler 2015

	Benzin
Pre Euro	160.000
Euro 1	160.000
Euro 2	160.000
Euro 3	160.000
Euro 4	160.000
Euro 5	143.800
Euro 6	21.100

Kilde: COPERT IV version november 2013. Copert indeholder data til og med 2013. 2015 er beregnet ved fremskrivning på basis af 2013 data.

8.2 Analyse

I TEMA2015 er det lagt til grund, at der skal grupperes efter godkendelsesnormer. TEMA2015 er ligesom den tidligere version baseret på COPERT.

COPERT

COPERT er et softwareprogram til estimering af luftforurening fra vejtransport, og er finansieret af the European Environment Agency. COPERT er bl.a. baseret på MEET-projektet, COST 319, PARTICULATES-projektet samt ARTEMIS-projektet, og datagrundlaget udgøres således af en lang række emissionsmålinger.

COPERT IV version november 2013 omfatter godkendelsesnormer til og med Euro 6.

3 vigtige argumenter for valget af COPERT er følgende:

- 1 Konsistens med nationale opgørelser af emissioner, der er baseret på COPERT
- 2 Bedre modellering af tunge køretøjer, specielt Euro 2 og Euro 3 i COPERT end i Handbuch
- 3 Forventet lettere adgang til opdatering da COPERT er en officiel EU model

Emissionerne deles op i:

- Varme emissioner
- Koldstarttillæg
- Fordampningstab

8.2.1 Varme emissioner

De varme emissionsfaktorer beregnes som:

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC$$

hvor E_{HOT}^l er den samlede emissionsfaktor per km, $e_{HOT}^l(V)$ er emissionsfaktoren beregnet ud fra rejsehastigheden, og MC er en korrektionsfaktor for slitage.

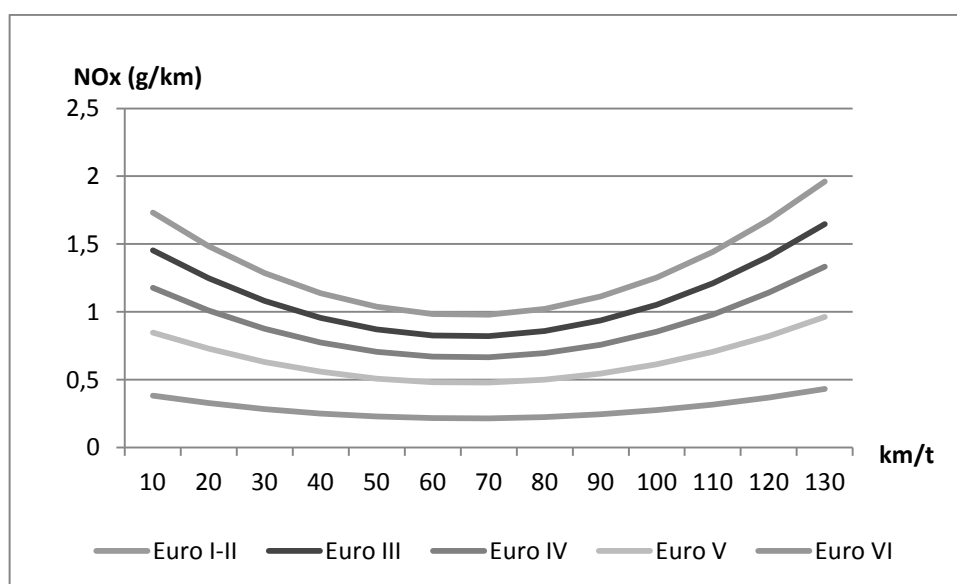
Hastighed

Næstefter godkendelsesnormerne er rejsehastigheden den mest betydende faktor til beregning af emissionerne. De anvendte køremønstre for varebiler er de samme som for personbiler.

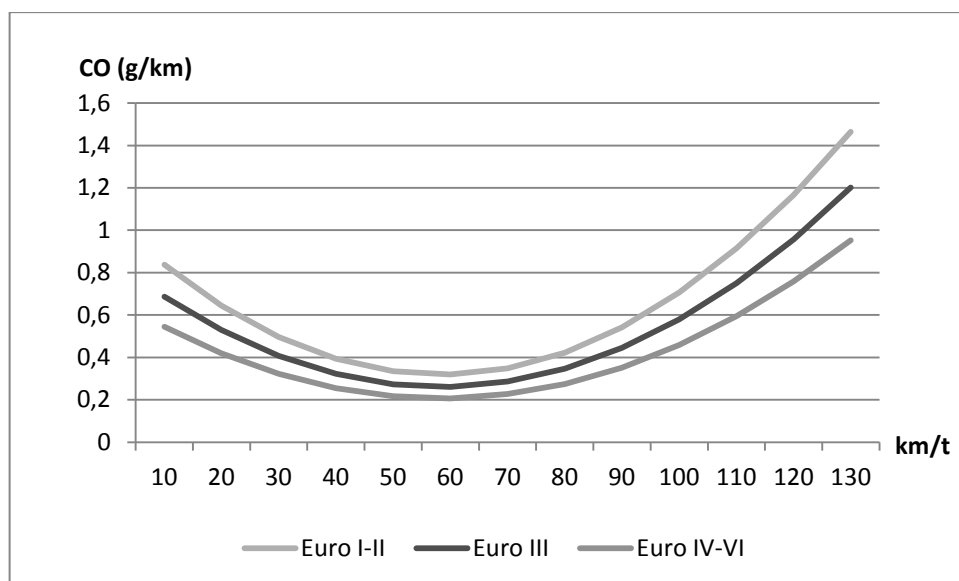
SO₂- og CO₂-emissioner beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

I Figur 8-1-Figur 8-3 ses modellens funktioner for varebilers emissioner af NO_x, CO og partikler pr. km fordelt på Euro-normer.

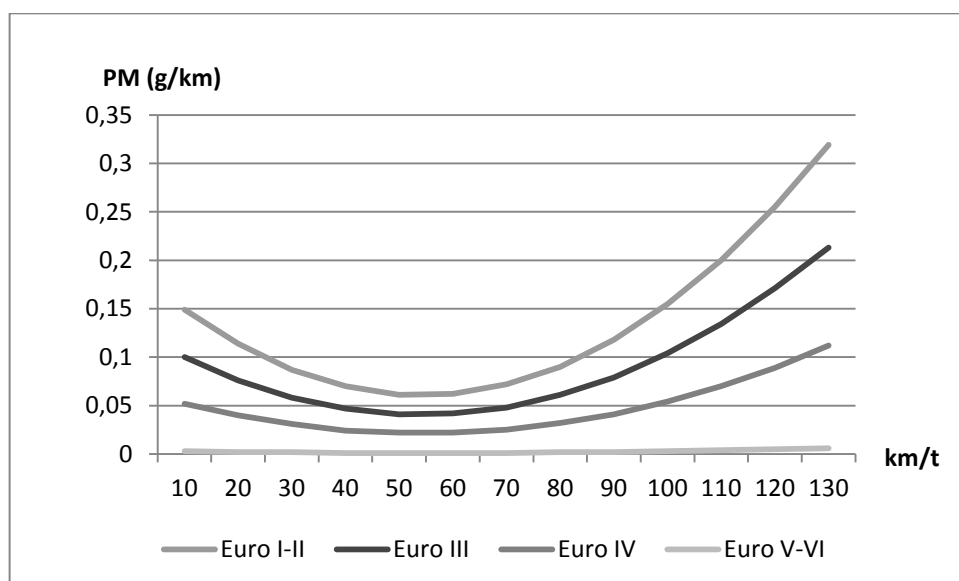
Figur 8-1 Emissionsfunktioner for NO_x for dieseldrevne varebiler



Figur 8-2 Emissionsfunktioner for CO for dieseldrevne varebiler



Figur 8-3 Emissionsfunktioner for partikler for dieseldrevne varebiler



8.2.2 Slitage

Den væsentligste årsag til, at slitage forøger emissionerne, er, at katalysatoren nedbrydes. Det antages, at slitage ikke påvirker selve motoren, hvorfor der ikke korrigeres for slitage på dieslbiler, men alene på benznbiler.

Ligesom for personbiler antages det, at der ikke sker yderligere slitage af bilen efter 120.000 km for biler tidligere end godkendelsesnorm Euro 3, mens der fra og med Euro 3 ikke antages at ske yderligere slitage efter 160.000 km.

Korrektionsfaktoren afhænger både af bilens kilometerstand og den kørte hastighed. Det antages, at for hastigheder lavere end den gennemsnitlige ha-

stighed for bykørsel i COPERT (19 km/t) eller højere end den gennemsnitlige hastighed for landkørsel i COPERT (63 km/t), er nedskrivningen uafhængig af hastighed. Dette er dog ikke ensbetydende med, at korrektionsfaktoren for slitage er identisk uden for disse grænser, idet katalysatoren belastes væsentligt mere ved lave gennemsnitshastigheder med mange start og stop end ved højere (og dermed mere jævne) gennemsnitshastigheder, hvorfor der benyttes forskellige parametre afhængig af, om hastigheden er hhv. under 19 km/t eller over 63 km/t.

Emissionsnedskrivningen i intervallet mellem 19 km/t og 63 km/t beregnes ved hjælp af lineær interpolation, jf. Tabel 8-5, som angiver formlerne til beregning af korrektion for slitage.

Tabel 8-5 Korrektionsfaktor for benzinbiler

Hastighed (km/t)	Korrektionsfaktor (MC)
$V \leq 19$	$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times kilometerstand + B_{URBAN}$
$V \geq 63$	$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times kilometerstand + B_{ROAD}$
$19 < V < 63$	$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V - 19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44}$

8.2.3 Koldstart

Koldstartstillægget afhænger af den gennemsnitlige hastighed i opvarmningsfasen. Ved belastende køremønstre med mange stop og accelerationer (og deraf følgende lave gennemsnitlige rejsehastigheder) er koldstartstillægget større end ved køremønstre med mere jævn kørsel.

Formlen for beregning af koldstartstillæg er:

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1)$$

hvor bc angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1, β angiver antallet af km, der påvirkes af koldstart, E_{HOT}^l er den varme emission, V er hastigheden i opvarmningsperioden og t er den omgivende temperatur.

Koldstartstillæg beregnes ikke default, men kan tilvælges af brugeren.

8.2.4 Fordampningsemissioner

Der medregnes de samme fordampningsemissioner som for benzindrevne personbiler med motorstørrelserne 1,4-2,0 liter og > 2,0 liter. Emissioner som følge af fordampning af benzin fra bilens tank under såvel kørsel som parkering

indebærer alene øget HC-udledning, og influerer dermed ikke de øvrige emissionstyper.

Som for personbiler medtages i TEMA2015 Hot Soak samt Running Loss, men ikke fordampning som følge af omgivelsernes temperatur eller fordampning i forbindelse med tankning.

Hot Soak

"Hot Soak" er den fordampning, der sker fra motor og indsprøjtningssystem i tidsrummet fra motoren standses til den er afkølet. Hot Soak afhænger af motortemperaturen, idet der fordamper væsentligt mere HC ved høje temperaturer i forhold til lave temperaturer. Motortemperaturen afhænger af, hvor langt bilen har kørt inden motoren slukkes.

I COPERT er Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde og emissionerne angives for henholdsvis typiske sommer- og vintertemperaturer. Det er i TEMA2015 valgt at benytte disse typiske emissioner, og tillægge hver tur uanset længde den samme gennemsnitlige Hot Soak-emission. Emissionerne er opdelt efter motorstørrelse, samt hvorvidt bilen er udstyret med kanister og i så fald, hvilken størrelse kanister, der er tale om. Af Tabel 8-6 fremgår Hot Soak-emissioner pr. kørt km.

Tabel 8-6 Udledning af Hot Soak (gram HC pr. tur)

	Sommer		Vinter	
	23-35	10-22	0-13	-5-12
Temperatur (°C)				
Pre Euro, tillæg ved kold motor				
< 2,0 l	10,01	6,01	4,42	3,10
> 2,0 l	12,29	7,38	5,43	3,80
Pre Euro, varm motor				
< 2,0 l	14,08	8,45	6,22	4,36
> 2,0 l	17,31	10,39	7,65	5,35
Euro 1-6				
< 2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04
> 2,0 l	0,10	0,07	0,04	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

Running Loss

"Running Loss" er den fordampning fra motor og indsprøjtningssystem, der finder sted under kørslen. For ældre biler udstyret med karburator og/eller "fuel

return systems", øges temperaturen i brændstoftanken og/eller karburatoren betydeligt, hvilket kan generere en stor mængde damp i tanken. For benzinbiler med brændstofindsprøjtning og "returnless fuel systems" påvirkes brændstofftemperaturen i tanken ikke af brug af motoren, og running loss er derfor meget begrænset for disse biler.

Running Loss er ligesom Hot Soak estimeret på baggrund af en gennemsnitlig turlængde og for typiske sommer- og vintertemperaturer, og det er valgt at tillægge hver tur den gennemsnitlige emission som følge af Running Loss. Af Tabel 8-7 fremgår Running Loss-emissioner pr. tur.

Tabel 8-7 Udledning af Running Loss (gram HC pr. tur)

Temperatur (°C)	Sommer		Vinter	
	23-35	10-22	0-13	-5-12
Pre Euro, tillæg ved kold motor				
< 2,0 l	2,15	1,30	0,95	0,67
> 2,0 l	2,62	1,58	1,15	0,81
Pre Euro, varm motor				
< 2,0 l	11,85	7,12	5,24	3,67
> 2,0 l	14,56	8,74	6,43	4,50
Euro 1-6				
< 2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04
> 2,0 l	0,13	0,08	0,06	0,04

Kilde: Dokumentationen til COPERT (Gasoline Evaporation From Vehicles, table 4-1)

8.3 Beregningsgang

Der er anvendt samme metode som for personbiler. Det betyder, at formlerne i det efterfølgende afsnit er de samme som for personbiler. I dokumentationen til COPERT samt i selve programmet kan de enkelte parameterværdier findes¹⁴.

8.3.1 Totale emissioner

De totale emissioner fra varebiler beregnes efter formlen:

$$E^l = E_{HOT}^l + E_{COLD}^l + E_{EVAPORATION}^l \quad (1)$$

¹⁴ For yderligere oplysninger om COPERT, se lat.eng.auth.gr/copert

hvor E_{HOT}^l er emissioner fra kørsel med varm motor, E_{COLD}^l er yderligere emissioner fra kørsel med kold motor, og $E_{EVAPORATION}^l$ er emissioner som følge af fordampning fra bilens tank.

8.3.2 Emissioner fra varm motor

Emissionerne fra varm motor beregnes generelt som:

$$E_{HOT}^l = e_{HOT}^l(V) \times MC \quad (2)$$

hvor V er hastigheden, og MC er korrektionsfaktoren for slitage.

Den hastighedsafhængige del beregnes som:

$$e_{HOT}^l(V) = (aV^2 + bV + c) \times (1 - RF) \quad (3)$$

hvor RF er en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1-biler.

Korrektionsfaktoren for slitage af benzinbiler beregnes som:

$$MC_{URBAN} = A_{URBAN} \times M_{AGE} + B_{URBAN} \quad (\text{for } V \leq 19) \quad (4a)$$

$$MC_{ROAD} = A_{ROAD} \times M_{AGE} + B_{ROAD} \quad (\text{for } V \geq 63) \quad (4b)$$

$$MC = MC_{URBAN} + \frac{(V-19) \times (MC_{ROAD} - MC_{URBAN})}{44} \quad (19 < V < 63) \quad (4c)$$

hvor M_{AGE} er kilometerstanden.

For kilometerstande over 120.000 km for Euro 2 og tidligere, og over 160.000 km fra og med Euro 3 antages der ikke at ske yderligere forringelser af katalysatoren.

8.3.3 Koldstartstillæg

Koldstartstillæget beregnes som efter følgende formel:

$$E_{COLD}^l = bc \times \beta \times E_{HOT}^l \times (A \times V + B \times t + C - 1) \quad (5)$$

hvor bc angiver en reduktionsfaktor i forhold til Euro 1, β angiver andelen af turen, der påvirkes af koldstart, e_{HOT} er den varme emission, V er hastigheden i opvarmningsperioden, og t er den omgivende temperatur.

β beregnes ved hjælp af formlen:

$$\beta = 0,6474 - 0,02545 \times M_{trip} - (0,00974 - 0,000385 \times M_{trip}) \times t \quad (6)$$

hvor M_{trip} er antallet af kilometer inden motoren er opvarmet, og t er den omgivende temperatur.

8.3.4 Fordampningstab

Fordampningstabet beregnes som

$$E_{EVAPORATION} = e_{HS} + e_{RL} \quad (7)$$

hvor e_{HS} er Hot Soak-emission, og e_{RL} er Running Loss-emission.

Såvel e_{HS} som e_{RL} afhænger af den omgivende temperatur, bilens motorstørrelse, og hvorvidt bilen er udstyret med kanister, og i givet fald i hvilken størrelse. I Tabel 8-6 og Tabel 8-7 er gengivet en oversigt over de anvendte værdier af Hot Soak og Running Loss.

8.4 Kilder

8.4.1 Litteratur

COWI (2000): TEMA2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2000.

European Environment Agency (2007a): Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv

European Environment Agency (2007b): Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv

European Environment Agency (2007c): COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport - Users Manual

INFRAS (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 2.1.

8.4.2 Internet

COPERT: lat.eng.auth.gr/copert

Dieselnet: www.dieselnet.com

Danmarks Statistik, Statistikbanken

9 Lastbiler

Ved beregning af emissioner og energiforbrug for lastbiler benyttes data, metoder og brugerflade, som i høj grad ligner de tilsvarende for dieseldrevne busser. I begge tilfælde er der tale om tunge køretøjer med store dieselmotorer godkendt efter samme normer.

9.1 Oversigt

I beregningen af de gennemsnitlige faktorer tages der hensyn til rejsens køremønster. Endvidere er følgende determinerende faktorer inddraget i modellen:

- Lastbiltype (størrelse)
- Godkendelsesnorm
- Brændstoftype
- Afstand (udgangspunkt og destination)
- Kørselens fordeling på by, landevej og motorvej
- Den gennemsnitlige rejsehastighed indenfor hver af disse kategorier
- Belægning, dvs. lasten angivet i ton

Belægningen indgår både i beregningen af lastbilens emissioner samt ved beregning af resultater pr. tonkilometer.

Lastbilerne i TEMA2015 er inddelt i henholdsvis sololastbiler og vogntog, og er derudover kategoriseret efter egenvægt, som vist i Tabel 9-1.

Tabel 9-1 Lastbiltyper i TEMA2015

Lastbiltype	Vægtklasse	Egenvægt	Lasteevne	Totalvægt (kg)
Solo lastbil	<=7,5t	4.000	3.500	7.500
Solo lastbil	7,5t - 12t	6.300	5.700	12.000
Solo lastbil	12-14t	7.400	6.600	14.000
Solo lastbil	14t - 20t	8.000	10.000	18.000
Solo lastbil	20t - 26t	10.000	14.000	24.000
Solo lastbil	26t - 28t	10.000	16.000	26.000
Solo lastbil	28t - 32t	14.000	18.000	32.000
Vogntog	14t - 20t	8.000	12.000	20.000
Vogntog	20t - 28t	12.000	16.000	28.000
Vogntog	28t - 34t	13.000	20.000	33.000
Vogntog	34t - 40t	14.000	26.000	40.000
Vogntog	40t - 48t	16.000	32.000	48.000
Vogntog	50t - 60t	20.000	40.000	60.000

Volumengods

Vægten af lasten har stor betydning for en lastbils brændstofforbrug, og TEMA 2014 regner netop på baggrund af lastens vægt målt i ton. Ved volumengods er den begrænsende faktor imidlertid ikke lastbilens lasteevne målt i ton, men derimod længden af ladet, arealet af ladet eller rumfanget af lastrummet. I disse tilfælde bør brugeren nøje overveje hvilke af køretøjerne til rådighed der vælges og hvor meget lasten vejer.

Det er vigtigt at forholde sig til volumengods af to grunde.

For det første fylder volumengods mere end andet gods og derfor vil en lastbil med volumengods have mindre last end "almindelige" lastbiler og dermed også lavere emissioner og brændstofforbrug. For at tage hensyn til dette skal brugeren rette lastbilens last til under avancerede indstillinger så de passer med den konkrete last. Default indstillingerne antager "almindelig" last og vil antagelig overvurdere lastens vægt når der er tale om volumengods.

For det andet kan der være tilfælde hvor volumengods transporteres på lastbiler der er lettere, dvs. har lavere egenvægt, end lastbiler med almindeligt gods. Det er derfor vigtigt, at brugeren sikrer sig, at egenvægten på den valgte lastbil i TEMA2015 svarer til den konkrete lastbil, der skal anvendes til godstransporten.

Til beregning af afstanden mellem to lokaliteter bruger TEMA2015 samme vejnet samt by/land-fordeling og vejtype for lastbilerne som for personbiler.

Vejtyper

Den kørte distance er som for den øvrige vejtrafik opdelt på de fire vejtyper:

- Veje i byområder (undtaget motorveje)
- Veje i landområder (undtaget motorveje)
- Motorveje i byområder
- Motorveje i landområder

Til hver vejtype hører en rejsehastighed. Som default er den gennemsnitlige hastighed for lastbiler på vejtyperne fastsat som angivet i Tabel 9-2.

Tabel 9-2 Default rejsehastigheder for lastbiler

	By	Land
Motorvej	70	70
Øvrige veje	25	70

Brugeren kan justere køremønstrene for hver af disse vejtyper ved direkte at specificere andre rejsehastigheder end TEMA's defaultværdier.

Belægning

I modsætning til varebiler medregnes belægning ved selve emissionsberegningen. Lasten gør lastbilen tungere, hvorved den bruger mere energi og udsender flere emissioner. Det samme er tilfældet for varebiler, men i noget mindre grad da lasten udgør en noget mindre andel af den samlede vægt i varebiler sammenlignet med lastbiler. Når denne sammenhæng ikke regnes med for varebiler skyldes det, at der ikke foreligger datamateriale til en lignende beregning for varebiler.

Der anvendes en default belægningsgrad på 47,3 procent (Danmarks Statistik). Når tomkørsel medregnes, fås en forøgelse af emissionerne på 14,8 procent. Brugeren har mulighed for at ændre disse valg, f.eks. ved at vælge, om tomkørsel skal regnes med eller ej. På lange ture kan kapacitetsudnyttelsen være noget højere op til ca. 70 procent.

Godkendelsesnorm Endvidere skal brugeren angive lastbilens EU-standard. Der er mulighed for at vælge mellem godkendelsesnormerne:

- Pre Euro
- Euro I
- Euro II
- Euro III
- Euro IV
- Euro V
- Euro VI

Hvor EU-standarder for personbiler og varevogne udtrykker emissionsforholdene i gram pr. kørt kilometer, bruges der for lastbilmotorer som for busmotorer i stedet specifikke mål; dvs. emissioner i forhold til det mekaniske arbejde, som motoren leverer. Enheden er normalt gram pr. kilowatt-time (g/kWh).

Lastbilmotorer testes ved brug af samme testcykler som beskrevet i kapitel 4 vedrørende busser.

I Tabel 9-3 og Tabel 9-4 ses godkendelsesnormerne med tilhørende grænseværdier for lastbiler og ikræfttrædelsesdato for den enkelte Euro norm.

Tabel 9-3 Godkendelsesnormer for lastbiler, g/kWh

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	HC	NO _x	PM	Røg
Euro I ¹⁾	10.1993	4,5	1,1	8,0	0,36 ³⁾	
Euro II ¹⁾	10.1996	4,0	1,1	7,0	0,25	
	10.1998	4,0	1,1	7,0	0,15	
Euro III ²⁾	10.2001	2,1	0,66	5,0	0,10	0,8 ⁴⁾
Euro IV ²⁾	10.2006	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5 ⁴⁾
Euro V ²⁾	10.2009	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5 ⁴⁾
Euro VI ²⁾	01.2014	1,5	0,13	0,4	0,01	

1) Testet med ECE R-49

2) Testet med ESC samt ELR.

3) Restriktionen på PM er 0,612 for < 85kW.

4) Estimering af udstødningsrøg indgår ikke i TEMA2015

Kilde: EU-direktiver, www.dieselnet.com, en.wikipedia.org.

Tabel 9-4 Godkendelsesnormer for lastbiler, ECT-test, g/kWh

Godkendelsesnorm	I kraft	CO	NMHC	NO _x	PM
Euro III	10.2001	5,45	1,6	5,0	0,16
Euro IV	10.2006	4,0	0,55	3,5	0,03
Euro V	10.2009	4,0	0,55	2,0	0,03
Euro VI	01.2014	4,0	0,16	0,4	0,01

Kilde: EU-direktiver, www.dieselnet.com, en.wikipedia.org.

9.2 Analyse

Ligesom for busser er det valgt at anvende den seneste version af COPERT som kilde til beregningerne.

COPERT omfatter godkendelsesnormer for dieseldrevne lastbiler til og med Euro VI, og det er valgt at benytte de samme emissionsformler i TEMA2015, som angivet i COPERT.

I TEMA2015 er det muligt at vælge dieseldrevne lastbiler, der overholder Euro VI-normen. Emissioner fra disse lastbiler beregnes på baggrund af emissioner fra Euro V-biler ved at justere emissionerne med en faktor svarende til den procentvise reduktion af emissionsgrænserne, jf. Tabel 9-3 og Tabel 9-4.

Det bemærkes, at de totale emissioner for lastbiler alene udgøres af varme emissioner, dvs. at der ikke beregnes koldstartstillæg, da lastbiler normalt kun koldstartes én gang om dagen. Endvidere beregnes der ikke påvirkning af slitage, da det antages, at antallet af kørte kilometre ikke påvirker motorens effektivitet, da der antages løbende vedligehold af lastbilerne.

I øvrigt henvises til kapitel 4 vedrørende busser.

9.2.1 Varme emissioner

De varme emissioner beregnes for dieseldrevne lastbiler som

$$E^l = e_{HOT}^l(V)$$

hvor $e_{HOT}^l(V)$ er emissionsfaktoren beregnet ud fra hastigheden.

Udledningen af SO₂ og CO₂ beregnes på baggrund af det estimerede brændstofforbrug.

9.2.2 Koldstart og fordampningsemissioner

Der beregnes ikke koldstartstillæg for lastbiler, da lastbiler normalt kun koldstartes én gang om dagen samt kører lange ture, og et eventuelt koldstartstillæg derfor ville betyde meget lidt for de samlede emissioner.

Endvidere beregnes der ikke fordampningsemissioner, da ingen af de inkluderede lastbiler er benzindrevne.

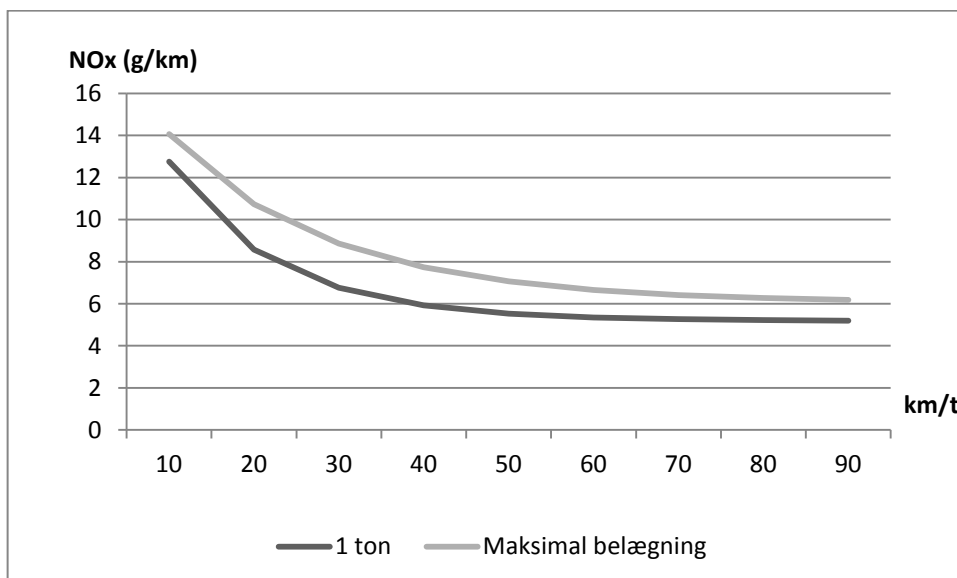
9.2.3 Belægning

Lastbilernes last influerer på energiforbrug og emissioner. Årsagen, er at vægtforøgelsen kræver øget effektbehov ved acceleration, og dermed større energiforbrug og emissioner.

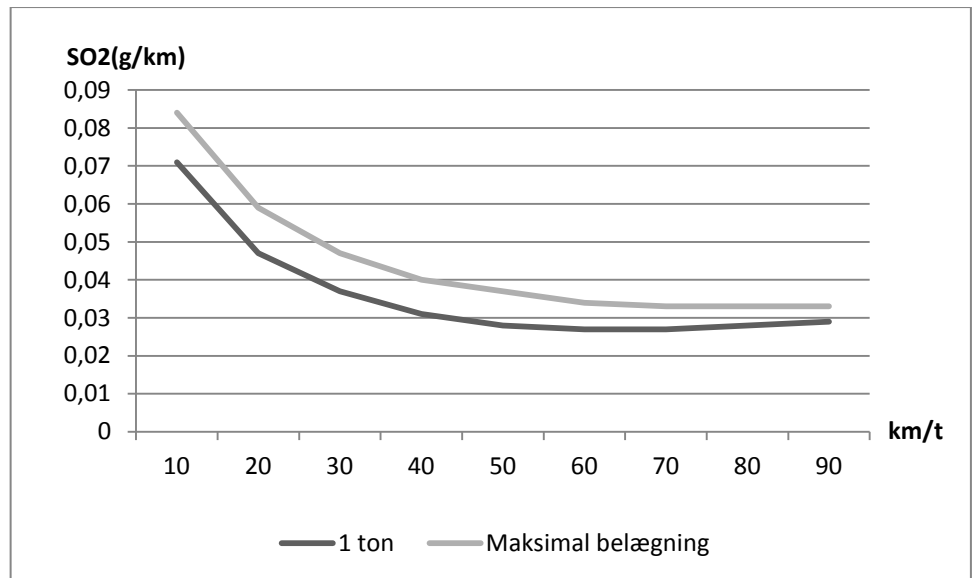
Til beregning af energiforbrug og emissioner ved en bestemt belægningsgrad beregnes værdierne for en belægningsgrad på henholdsvis 0 procent, og 100 procent, hvorefter den aktuelle værdi findes ved lineær interpolation mellem talsættene. Det forudsættes med andre ord, at der er tale om en lineær sammenhæng mellem vægt og energiforbrug/emissioner.

Vægtafhængigheden er illustreret i Figur 9-1 - Figur 9-6, der viser emissionsfunktionerne for NO_x , SO_2 samt CO_2 , når køretøjer er lastet med hhv. 1 ton (mindste belægning i TEMA2015) og med fuld udnyttet kapacitet.

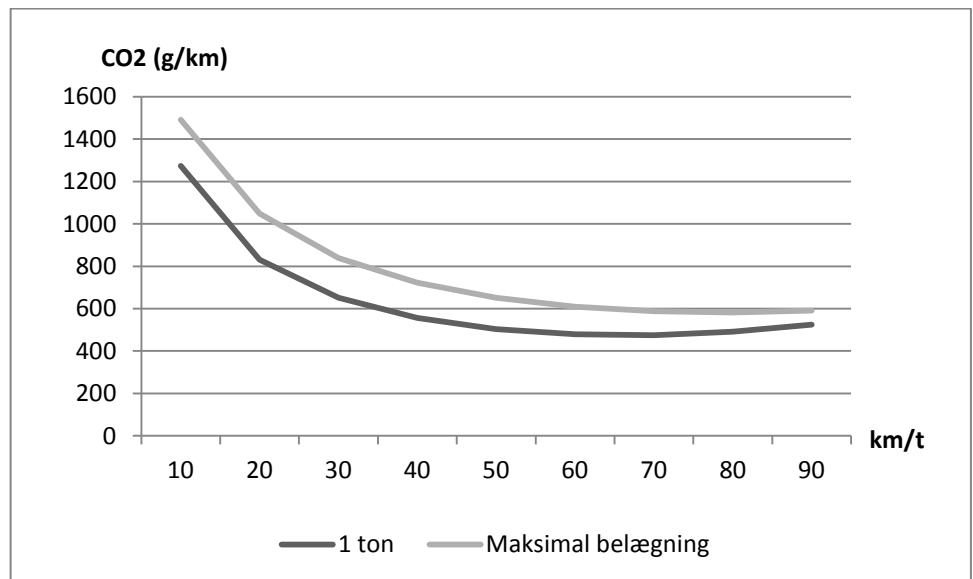
Figur 9-1 Emissionsfunktioner for udledning af NO_x for Euro IV sololastbil (14-18 ton)



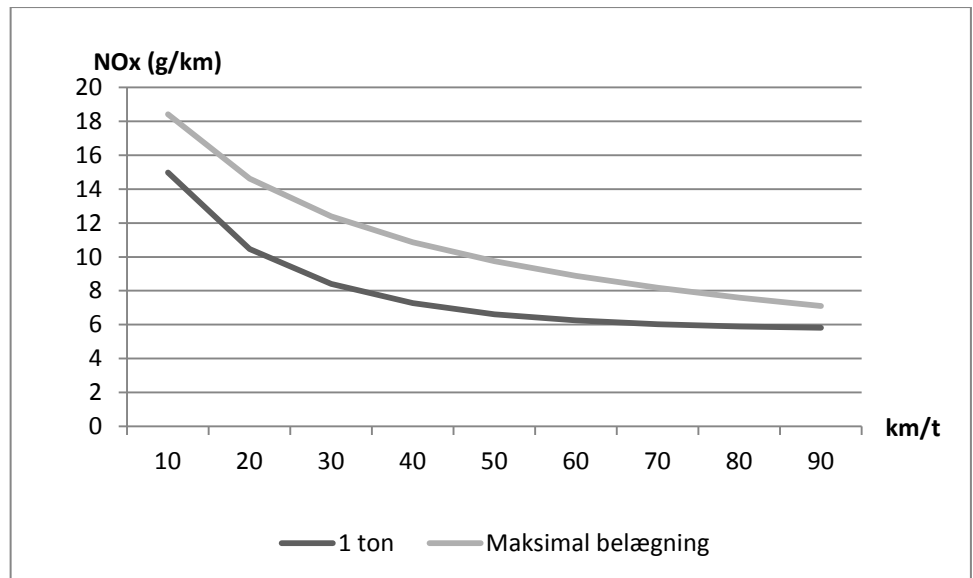
Figur 9-2 Emissionsfunktioner for udledning af SO_2 for Euro IV sololastbil (14-18 ton)



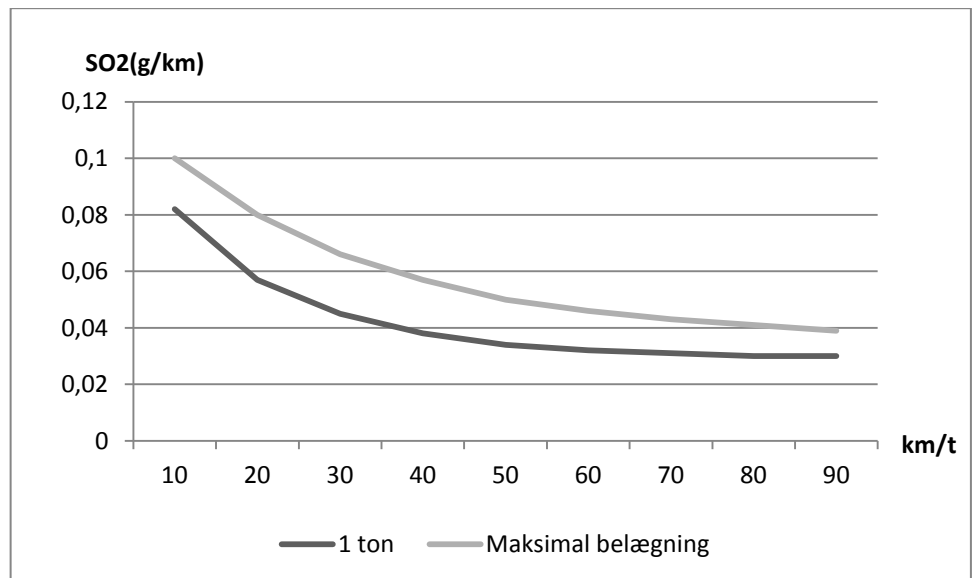
Figur 9-3 Emissionsfunktioner for udledning af CO_2 for Euro IV sololastbil (14-18 ton)

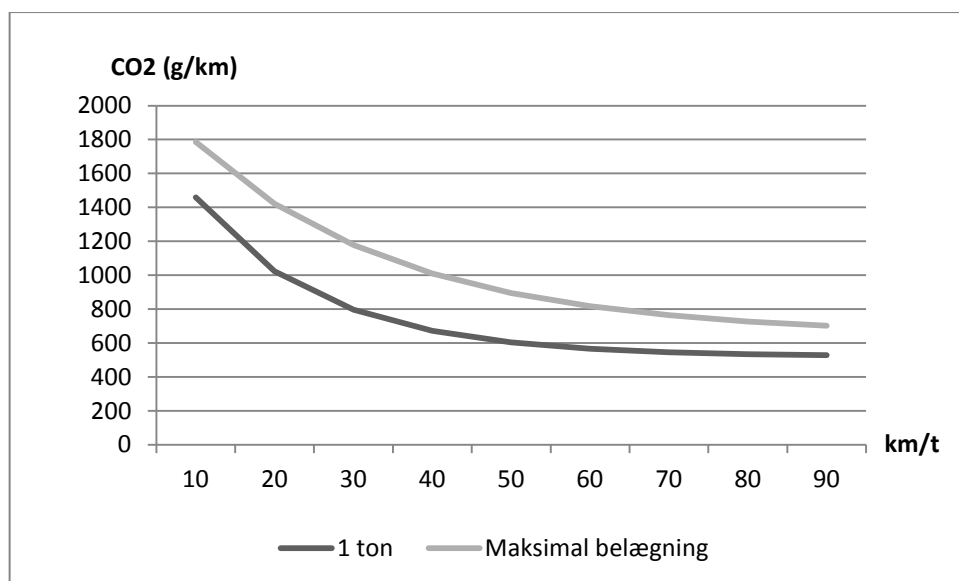


Figur 9-4 Emissionsfunktioner for udledning af NO_x for Euro IV vogntog (38-40 ton)



Figur 9-5 Emissionsfunktioner for udledning af SO_2 for Euro IV vogntog (38-40 ton)



Figur 9-6 Emissionsfunktioner for udledning af CO₂ for Euro IV vogntog (38-40 ton)

9.3 Beregningsgang

Emissionerne for lastbiler beregnes ved lineær interpolation mellem belægningsgraderne 0 procent og 100 procent

Den hastighedsafhængige del afhænger af lastbiltype, godkendelsesnorm samt belægningsgrad, og beregnes ved brug af formlerne¹⁵:

$$e_{HOT}^l(V) = a + bV + \frac{(c-b) \times (1 - \exp((-1) \times dV))}{d}$$

$$e_{HOT}^l(V) = e + a \times \exp((-1) \times bV) + c \times \exp((-1) \times dV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{cV^2 + bV + a}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV^c}$$

$$e_{HOT}^l(V) = \frac{1}{a + bV}$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^3 + bV^2 + cV + d$$

$$e_{HOT}^l(V) = ab^V \times V^c$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^b + cV^d$$

¹⁵ Formlerne fremgår af software versionen af Copert 4 version november 2013, hvor formlerne kan ses når man har åbnet programmet.

$$e_{HOT}^l(V) = (a + bV)^{-\frac{1}{c}}$$

$$e_{HOT}^l(V) = a + \frac{b}{1 + \exp((-1) \times c + d \times \ln(V) + eV)}$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp((-1) \times bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = c + a \times \exp(bV)$$

$$e_{HOT}^l(V) = \exp\left(a + \frac{b}{V} + c \times \ln(V)\right)$$

$$e_{HOT}^l(V) = aV^2 + bV + c$$

Udledningen af SO₂ og CO₂ beregnes på baggrund af det estimerede brændstof-forbrug.

9.4 Kilder

9.4.1 Litteratur

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Oktober 2010.

European Environment Agency (2007a): Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv

European Environment Agency (2007b): Methodology for the calculation of fuel evaporation – SNAP 070600, NFR 1A3bv

COPERT 4 version November 2013, software

Danmarks Statistik, Statistiske Efterretninger.

9.4.2 Internet

Dieselnet: www.dieselnet.com

10 Godstog

Energiforbrug og emissioner for godstog beregnes med udgangspunkt i den kørte distance samt den vægt, lokomotivet trækker ("vægt på kroen"), multipliceret med gennemsnitlige emissionsfaktorer og energiforbrug pr. km.

10.1 Oversigt og brugerparametre

Togtyper

Der indgår to godstogstyper i TEMA:

- Eltog
- Dieselelektriske tog

Stationer

Der kan transporteres mellem godsstationer¹⁶ på HRL nettet. HRL nettet er segmentopdelt på samme måde som for persontog.

I under de avancerede indstillinger kan brugeren specificere en vilkårlig afstand, og det er ikke nødvendigt at angive stationer. Dette giver brugeren mulighed for at regne på specifikke godstog.

Rutelægning

TEMA sammenstykker automatisk den korteste segmenttrækkefølge fra startstation til slutstation. Dette har særligt betydning, hvor der er flere alternative ruter mellem start og slutstationen. Hvis brugeren ønsker en anden rutelægning, må det vælges manuelt ved at opdele turen i delture.

Hvis fra-station ikke er en segmentende, har TEMA indlagt afstanden fra fra-station til første segmentende på ruten, og beregner automatisk den forholds-mæssige del af det første segment, der skal medtages. Tilsvarende for til-stationen.

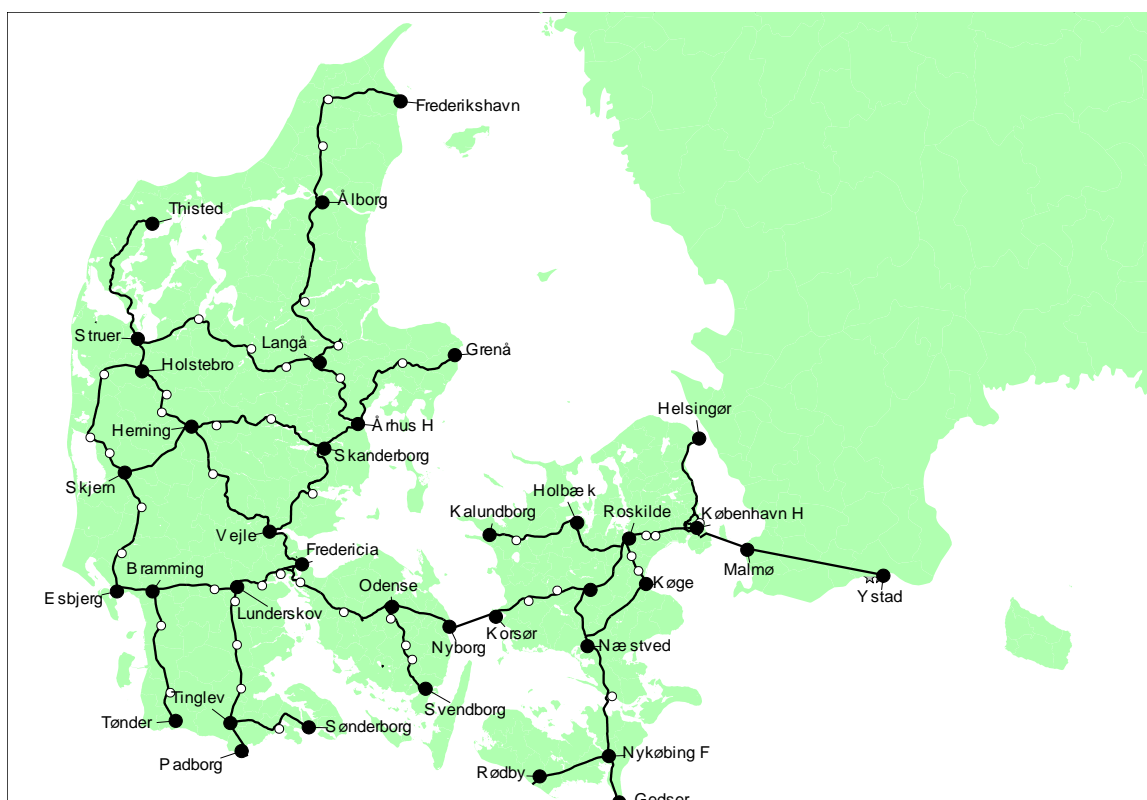
¹⁶ Bemærk, at DSB benytter et mere detaljeret stationsnet end TEMA gør. F.eks. skelner DSB mellem København H, Københavns Godsbanegård, København Frihavn og København Grænse. TEMA benytter i stedet 664 punkter fordelt i Danmark, hvoraf en del er passagerstationer. Derfor optræder København H som fællesbetegnelse for passager- og gods-transportstation. Derudover indgår Grindsted, Løgstør, Korinth og Assens på DSB's net ikke.

Brugervalg

Brugeren har mulighed for at specificere:

- Fra- og til-station
- Brugerlast
- Togtype: Diesel / El
- Afstand
- Samlet vægt af vogne og last for hele ruten
- Samlet vægt af last for hele ruten

Figur 10-1 HRL nettet for godstog



Note: Prikkerne angiver godsstationer. Sorte prikker er også segmentender.

10.2 Analyse

10.2.1 Anvendt metode

I den forrige version af TEMA var metoden til beregning af emissioner for godstog udarbejdet af DSB/Banestyrelsen. I TEMA2015 er det valgt at basere estimeringen af emissioner fra godstog på data og formler fra EcoTransIT (Ecological Transport Information Tool). EcoTransIT er et software til beregning af emissioner fra godstransport og er baseret på et datagrundlag indsamlet i en lang række europæiske lande¹⁷.

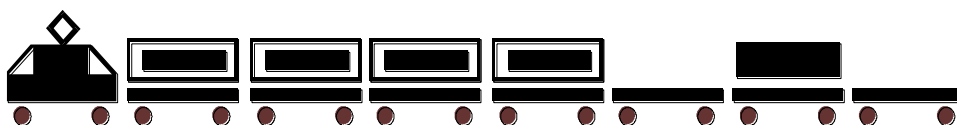
¹⁷ I forbindelse med udviklingen af EcoTransIT er involveret partnere fra Tyskland, Sverige, Schweiz, Frankrig, Belgien, Italien, Spanien samt Storbritannien. Ud over emissions- og

Siden 2008 er stort set al transport med godstog overtaget af udenlandske operatører. Derfor er det valgt at anvende en international model, EcoTransIT til beregning af emissioner fra godstransport med tog i Danmark. EcoTransIT er et samarbejde mellem svenske og tyske operatører og på den måde dækker EcoTransIT rimeligt godt de godstransporter, der sker i Danmark.

I EcoTransIT fremgår formler for beregning af energiforbrug for henholdsvis elektriske og dieseldrevne godstog. Formlerne afhænger af lastens vægt inklusiv lastbærere, og der er udledt formler for energiforbruget i fladt, bakket og bjergterræn. Det er i TEMA2015 valgt at benytte formlerne for fladt terræn for at afspejle det danske landskab.

I Figur 10-2 er skitseret et godstog bestående af lokomotiv, togvogne, lastbærere og last.

Figur 10-2 Skitse af godstog bestående af lokomotiv, togvogne, lastbærere og last (ikke al last er i lastbærere).



Det er togets samlede vægt, der er afgørende for energiforbruget, men begrebet *Vægt på krogen*¹⁸, M^{vpk} , er nødvendigt, idet emissionerne i EcoTransIT er opgjort som funktion heraf. Vægt på krogen omfatter togvogne, lastbærere og last, der er koblet på lokomotivet. Vægt på krogen betegnes som bruttoton, mens last regnes i nettoton, blot angivet som ton.

Ovenstående beskrivelse giver nedenstående matematiske sammenhæng:

$$M^{tog} = M^{lokomotiv} + M^{togvogne} + M^{last} + M^{lastbærere}$$

$$M^{vpk} = M^{togvogne} + M^{last} + M^{lastbærere}$$

Belægningsgrader

Der regnes ikke med generelle belægningsgrader for godstog i TEMA. Dette skyldes, at den øvre grænse for kapacitet er afhængig af en lang række faktorer, bl.a. strækningen, tilladt akseltryk, lokomotivets trækraft, terrænforhold, togvogne m.v. Endvidere bliver togene op- og nedformeret afhængigt af efterspørgslen.

Default belægning, målt som last/Vægt på krog er angivet til 50% for gennemsnitligt gods i henhold til EcoTransIT.

aktivitetsdata fra disse lande, indgår endvidere data fra Danmark og Ungarn, samt data opgjort på europæisk plan, herunder ARTEMIS-projektet, COPERT 4 samt opgørelser foretaget i fællesskab af europæiske togoperatører.

¹⁸ Krogen er lokomotivets sammenkobling med togvognene.

Såfremt det ønskes at regne på belægningsgrader i TEMA er det muligt at specificere disse. I tabellen nedenfor er angivet typiske belægningsgrader for forskellige typer af gods.

Tabel 10-1 Typiske belægningsgrader for forskellige typer af gods

	Vægt tom vogn (ton)	Kapacitet per vogn (ton)	Belægning (%)	Andel gods af total vægt på krogen (%)	Godsvægt for 750 ton godstog (ton)
Biler	28	21	85%	39%	292
Kemi	24	55	100%	70%	522
Containere	21	65	50%	61%	456
Kul og stål	26	65	100%	71%	536
Byggematerialer	22	54	100%	71%	533
Blandet gods	23	54	75%	64%	478
Foderstoffer	20	63	100%	76%	569

Kilde: Ecological Transport, Information Tool for Worldwide Transports, Methodology and Data, EcotransIT, 2014

Den typiske load faktor for gennemsnitligt gods varierer mellem 76 % for foderstoffer og 39 % for biler. TEMA2015 anvender gennemsnittet mellem de belægningsgrader der er angivet i Tabel 10-1 svarende til 64 % uden tomkørsel som default. Tomkørsel beregnes på baggrund af ECOTransIT til 30 procent¹⁹. Hvis der er samme emissioner fra et tog der kører tomkørsel skal emissionerne ganges med en faktor $1/0,7 = 1,43$ for at få de samlede emissioner, inklusive tomkørsel.

Gennemsnitlig togstørrelse til international transport er angivet til 1000 tons vægt på krog. Kort tog er angivet til 500 tons vægt på krog og langt tog til 1500 tons vægt på krog. Til default for TEMA2015 anvendes 750 tons vægt på krog, hvilket svarer til gennemsnittet i Danmark.

Rollende Landstraße

"Rollende Landstraße" er en transportform, hvor lastbilen inkl. forvogn køres op på eller sættes på flade togvogne. Chaufførerne kører også med toget i modsætning til løstrailertransport. Ifølge DSB Gods kræver Rollende Landstraße specielle togvogne, som er dyre i indkøb og vedligehold. Derfor har DSB Gods pt. ingen planer om at tilbyde denne transportform.

Hvis brugeren ønsker at beregne emissioner for Rollende Landstraße kan dette gøres ved at sammensætte en tur med et godstog med et givet antal lastbiler. Dette gøres konkret ved, at lastbilernes samlede vægt (egenvægt + last) angives som last for godstoget, og denne samlede last + vægt af togvogne angives som vægt på krogen. Det må forventes, at forholdet mellem samlet last og vægt på

¹⁹ 70 % med last og 30 % tomkørsel. Ecological Transport, Information Tool for Worldwide Transports, Methodology and Data, EcotransIT, 2014

krogen øges i forhold til de gennemsnitlige værdier, som anvendes i TEMA. Dermed kan togets samlede emissioner beregnes. Tilsvarende laves en tur med det samme antal lastbiler, som kører den samme distance på vej. Emissionerne for disse to ture kan dernæst sammenlignes.

Det bemærkes, at det ikke umiddelbart er muligt at sammenligne emissioner pr. tonkm, da lastbilernes egenvægt anses for last i ovenstående beregninger, men egenvægten reelt er en lastbærer.

10.2.2 Emissioner og energiforbrug

Emissioner fra elektriske tog

Emissioner fra elektriske godstog sker via kraftværkernes udledninger. Dette er uddybet i kapitel 13.2. Bemærk at som konvention foregår alle emissioner fra kraftværker udelukkende i landzone.

Emissioner fra dieseltog

Emissioner fra dieseltog sker derimod i forbindelse med selve kørslen og brug af motoren. Disse emissionsfaktorer angives i TEMA2015, ligesom i EcoTransIT, som brændstofafhængige værdier, hvilket vil sige at de udelukkende afhænger af togets brændstofforbrug pr. km. Dermed afhænger emissionerne ikke af f.eks. togets hastighed, men alene af lastens vægt inkl. lastbærer samt den kørte strækning. I Tabel 10-2 ses de emissionsfaktorer, der indgår i EcoTransIT, samt hvilken operatør, der har oplyst estimaterne. I TEMA2015 er det valgt at benytte default-værdierne.

Tabel 10-2 Emissionsfaktorer for dieseldrevne godstog

Operatør	Gram pr. kg brændstof				
	CO ₂	NO _x	SO ₂	NMHC	PM
Green Cargo	3.170	70	0,01	2,8 (HC)	1,8
DB	3.175	55,0	0,02	5,7	1,74
DSB	3.170	56,7	0,07	1,8	2,0
TI	3.100	60	0,1	4,9	5,0
SNCF	3.150	39,6	0,1	4,7	1,5
Default	3.170	55	0,1	4,9	1,5

Kilde: EcoTransIT

10.3 Beregningsgang

Beregningsgangen i TEMA2015 for emissioner for godstransport med tog er givet ved nedenstående formler, der svarer til de udledte formler for fladt terræn i EcoTransIT.

Brugeren vælger fra- og til-station samt togtype og godsmængde, hvorefter TEMA beregner emissionerne.

Formler for eldrevne tog

For eldrevne godstog beregnes energiforbruget i Wh pr. tonkm ved hjælp af formlen:

$$q_t = 540 \times (M^{vpk})^{-0,5}$$

hvor M^{vpk} er togets vægt på krogen.

Herefter beregnes togets emissioner fra station i til station j som:

$$e_l^P(i, j, t) = E_l^E q_t$$

hvor E_l^E er emission pr. el energiforbrug for emissionstype l , og q_t er energiforbruget pr. km

Formler for dieseltog

For dieseltog beregnes energiforbruget i gram pr. tonkm (last og vogne) på krogen ved brug af formlen:

$$q_t = 122,46 \times (M^{vpk})^{-0,5}$$

hvor M^{vpk} er togets vægt på krogen.

Herefter beregnes togets emissioner fra station i til station j som:

$$e_l^P(i, j, t) = E_l q_t * D$$

hvor E_l er udledning af emissionstype l , q_t er energiforbruget pr. km og D er afstanden

Energiforbruget målt i gram per tonkm last beregnes som $q_t / \text{belægningsgraden}$.

10.4 Litteratur

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, Maj 2010.

EcotransIT (2014): Ecological Transport, Information Tool for Worldwide Transports, Methodology and Data, EcotransIT, 2014

11 Færger til godstransport

11.1 Oversigt og brugervariabler

Godstransport med færge mellem danske havne udgjorde i 2013 ca. 25 procent af den samlede godomsætning på danske havne (SKIB451, Danmarks Statistik 2014).

Godstransport med færge i Danmark sker som regel med almindelige passagerførende bilfærger, der som regel kan transportere lastbiler i større eller mindre omfang. Herudover transporteres rullende last, dvs. lastbiler og løstrailere, med såkaldte Ro-Ro lastskibe, der som regel ikke medfører passagerer, men som kan transportere væsentligt mere rullende last end almindelige passagerførende bilfærger.

De almindelige passagerførende bilfærger, der kan transportere lastbiler eller løstrailere, ligger i TEMA2015 som forud definerede færger. Herudover kan brugeren selv definere en passagerfærge, hvor den i beregningsmæssig forstand betragtes som en godsfærge. På lignende vis kan brugeren også definere en Ro-Ro lastfærge (dvs. uden passagerer). De to sidstnævnte typer færger kaldes de brugerdefinerede færger.

En mere udførlig beskrivelse af de to færgetyper, deres transportkapacitet, størrelse og typiske fart findes i en særskilt bilagsrapport til TEMA2000²⁰.

Brugerdefinerede færger kan anvendes på samme måde som de foruddefinerede færger. Delmodellen til brugerdefinerede færger kan således anvendes til at supplere de foruddefinerede færger i TEMA2015.

De brugerspecificerede variable for godstransport med færger er:

- Færger/ruten
- Turlængde
- Forbindende transportform, dvs. varebil, lastbil eller løstrailer
- Færgens belægning for den valgte transportform

²⁰ Bilagsrapporten: Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag er udarbejdet af Hans Otto Kristensen, der også har stået for udviklingen af den model, der udgør det beregningsmæssige grundlag for brugerdefinerede færger.

- Antal tons i den valgte transportform
- Belægning med passagerer

For de brugerdefinerede godsfærger kan tillige specificeres:

- Færgens kapacitet målt i antal lanemeter (længde af lastbil vognbaner)
- Lastbilens længde, egenvægt, lasteevne og last
- Sejlhastigheden
- Færgens alder.

11.2 Analyse

Modellen anvender samme færger til godstransport som er anvendt til persontransport. Se afsnit om færger til persontransport for en nærmere beskrivelse af ruter færgetyper mv.

Fordelingen af energiforbrug og emissioner på lastbilerne baseres på ækvivalenterne angivet i Tabel 6-6 i samme kapitel. Default belægningsgraderne vil være de samme som for personbilerne, idet disse er baseret på vogndæksbelægning.

For de små færger skal brugeren være opmærksom på det meget begrænsede antal lastbiler, som kan medtages.

11.3 Kilder

Danmarks Statistik, Statistikbanken.

Kristensen, H. O. (2000): Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag. Bilagsrapport.

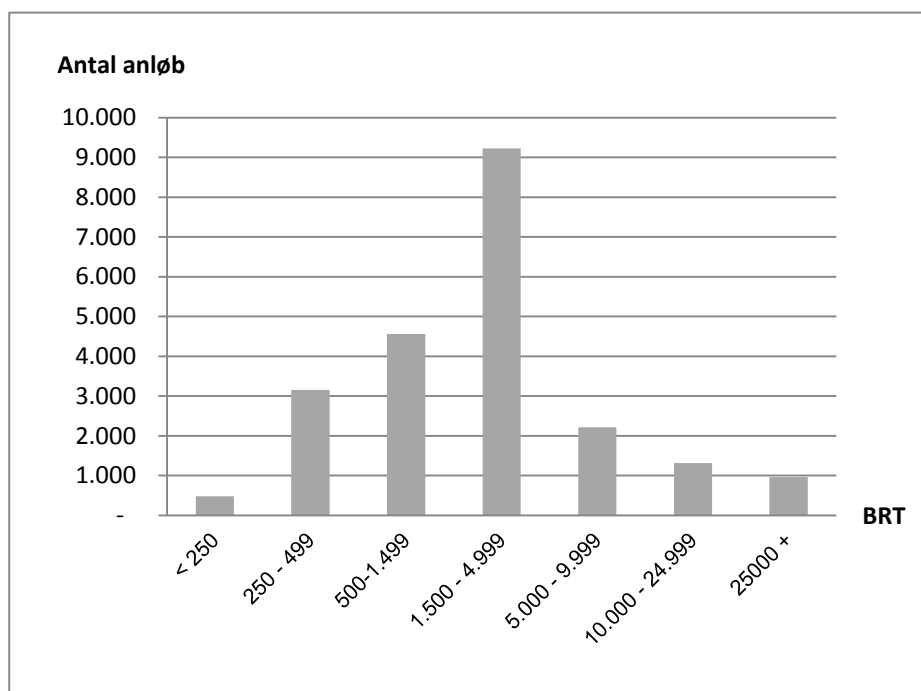
12 Fragtskibe

12.1 Introduktion

Metoden for beregning af fragtskibe er ikke ændret væsentligt i forhold til metoden i TEMA2010.

Figur 12-1 nedenfor viser, hvordan skibsanløbene i danske havne fordeler sig på skibsstørrelser. Det fremgår, at langt den overvejende del af anløbene udføres med skibe på under 5.000 bruttoton.

Figur 12-1 Antal skibsanløb på danske havne fordelt efter Bruttoregisterton (BRT), 2009



Kilde: Danmarks Statistik

Note: Bruttotonnage er et rumbegreb for hvor meget skibet kan laste.

TEMA2015 bygger på en omfattende model²¹, med hvilken det er muligt at foretage systematiske beregninger for forskellige skibstyper. Denne model er benyttet som grundlag for fragtskibe i TEMA2015.

Til TEMA2015 er der foruddefineret to fragtskibe:

- Bulkcarrier med 2000 tons lasteevne
- Containerskib med kapacitet på 350 TEU

Disse skibe vurderes at være de typiske for indenlandske transporter i Danmark. Ud over disse skibe kan brugeren selv definere andre bulk- og containerskibe, idet der gælder følgende kapacitetsgrænser:

- Containerskibe: 100-7.000 TEU
- Bulk carriers: 2.000-150.000 tons last.

12.2 Brugervariabler

I TEMA har brugeren mulighed for at specificere følgende parametre, for dermed at regne på et konkret fragtskib:

- Skibstype
- Sejldistancen i km
- Skibets belægning i ton

I det særlige modul til definition af brugerdefinerede fragtskibe er det muligt at specificere følgende parametre:

- Skibstype (bulk og container)
- Skibets maksimale lasteevne i TEU²² eller ton (TEU for containerskibe og ton for bulk carriers)
- Belægningsgraden i TEU eller ton
- Skibets servicefart i knob
- Skibets alder

Servicefarten på skibet har stor betydning for energiforbruget og det er derfor muligt at øge eller sænke hastigheden i modellen med 10 procent i forhold til gennemsnitsfarten for den pågældende skibstype og -størrelse.

En 2000 tons bulk carrier med en udnyttelsesgrad på 65 procent bruger 0,204 MJ pr. tonkm ved 10,4 knob, mens det samme skib bruger 0,285 MJ per. tonkm, hvis farten øges 10 procent til 11,4 knob, altså en forøgelse på 40 procent på energiforbruget.

Datagrundlaget for det særlige modul til definition af brugerdefinerede fragtskibe er nye skibe med et specifikt brændolieforbrug svarende til 1999 gennem-

²¹ Se Kristensen (2000)

²² TEU står for 20 fods ækvivalent, dvs. eksempelvis en standard 20 fods container.

snitsstandard. Resultaterne fra disse skibe er herefter korrigeret (til højere energiforbrug), således at de svarer til gennemsnitsalderen af den danske flåde. TEMA2015 regner således som default på et gennemsnitligt skib, men der er også mulighed for at regne på et nyt skib.

Tabel 12-1 Gennemsnitsalderen og korrektionsfaktor for bulkcarrier og containerskibe

Skibstype	Gennemsnitsalder	Korrektionsfaktor
Bulkcarrier	11,7	1,13
Containerskib	6,2	1,07

Note: Korrektionsfaktorerne er beregnet på basis af udviklingen i specifikt brændolieforbrug gennem de seneste 20-25 år. Se i øvrigt bilagsrapport.

Kilde: Danmarks Rederiforening 1999

Fastsættelsen af skibets aktuelle last i forhold til lasteevnen (maksimal last) bestemmer skibets energiforbrug per tons. Da data for energiforbruget på fragtskibene er for en minimumskapacitet på 25 procent, er der i modellen indlagt en nedre grænse på 25 procent kapacitetsudnyttelse.

12.3 Analyse

I dette afsnit præsenteres de forudsætninger som danner baggrund for de fordefinerede færges i TEMA.

12.3.1 Motortyper²³

Fragtskibenes motortyper er en vigtig parameter i forhold til at bestemme energiforbrug og emissioner. Slow speed motorer benyttes ofte til fremdrivning af containerskibe over 500 - 1000 TEU, idet der bygges slow speed motorer med et effektbehov svarende til, hvad der kræves for containerskibe med 400 – 500 TEU (Beskrivelse af det skibstekniske beregningsgrundlag, Bilagsrapport 2 TEMA2000, bilag A).

I modelberegningerne er det antaget, at alle containerskibene fremdrives af slow speed motorer, hvilket som nævnt er en rimelig antagelse ned til en skibsstørrelse på ca. 500 TEU, som er den næstlaveste skibsstørrelse, der indgår i modelberegningerne. Den laveste containerskibsstørrelse i beregningerne er udført for et 100 TEU containerskib, hvor det korrekte valg burde have været et medium speed fremdrivningsanlæg. Derfor er det beregnede energiforbrug for denne skibsstørrelse godt 10 procent for lav. Dette opvejes dog af det forhold, at for et så lille skib vil nyttelasten sandsynligvis udgøre op til ca. 90 procent af dødvægten, hvor der i beregningsmodellen er brugt 75 procent som en fælles procentsats op til containerskibe på 4000 TEU.

²³ Fra Hans Otto Kristensens notat af 12. november 1999.

Også for bulk carriers er det i modelberegningerne antaget, at skibene fremdrives af slow speed motorer (Kristensen, H. O. (2000)). Her gælder lignende betragtninger (som for containerskibene) i den nedre ende af kapacitetsskalaen dvs. for skibe med henholdsvis 2000-5000 tons lasteevne, der er de mindste skibsstørrelser, der indgår i modelberegningerne, at disse realistisk set vil blive fremdrevet af medium speed motorer.

Slow speed motorer antages at forbrænde fuelolie, og det er antaget at motorernes forbrug er 170 g/kW time, hvilket er en passende værdi for dagens standard. (MAN B&W, 1999a)

12.3.2 Energiforbrug

Energiforbruget per ton gods transporteret med fragtskibe afhænger meget af belægningsgraden. I Tabel 12-2 vises det energiforbrug per ton-kilometer ved forskellige kapacitetsudnyttelser, som er medtaget i TEMA2015.

Tabel 12-2 *Energiforbrug for fragtskibe (MJ/ton-km)*

Kapacitets-udnyttelse	Bulkcarrier med 2000 tons lasteevne	Container-skib 350 TEU
25%	0,579	0,825
50%	0,293	0,428
75%	0,204	0,300
100%	0,161	0,237

12.3.3 Emissions-koefficienter

Det er vurderet at emissionsfaktorerne fra den tidligere version, TEMA2000, stadig er gældende for fragtskibe. Dog skønnes det, at NO_x emissionerne er reduceret med 20% som følge af Tier II. De nævnte skibe sejler på fuelolie og det gennemsnitlige svovlindhold er 1,2 procent, NERI (2009).

Emissionsfaktorer for slow speed motorer i TEMA2015 er vist i tabellen herunder.

Tabel 12-3 Emissioner (g/MJ) for fragtskibe

Emissionstype	Emission (g/MJ)
CO ₂	78,000
NO _x	2,0
CO	0,230
HC	0,073
Partikel	0,200
SO ₂	0,587

Kilde: Kristensen (2000), Lloyds Register of Shipping (1995), MAN B&W (1999) og NERI (2009). Det er skønnet at IMO Tier II giver 20% NO_x reduktion i forhold til TEMA2000.

12.4 Beregningsformler

Beregningsgangen for energiforbruget knyttet til det enkelte fragtskib kan beskrives ved følgende formel:

$$q^G = \frac{q}{KB}$$

hvor K er skibets lasteevne, B er skibets udnyttelsesgrad, q^G er energiforbrug pr. tonkm og q er skibets energiforbrug pr. km.

Tilsvarende vil emissionerne pr. ton være givet ved nedenstående formel:

$$e^G = I \times q^G$$

hvor I er den specifikke emissionsfaktor i g/MJ.

Beregningen af brugerspecificerede færgers energiforbrug fremgår af bilagsrapporten Kristensen (2000).

12.5 Litteratur

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, 2010.

Kristensen, H. O. (2000): Beskrivelse af TEMA2000 modellens skibstekniske beregningsgrundlag. Bilagsrapport.

NERI (2009): Annual danish informative inventory report to unece, Emission inventories from the base year of the protocols to year 2007, DMU, Teknisk Rapport nr. 716, 2009

13 Øvrige data

13.1 Beregning af hurtigste rute

I TEMA kan der rejses imellem 687 lokaliteter / destinationer. Disse omfatter:

- Byer med mere end 1000 indbyggere
- DSB's stationer på hoved-, regional- og lokalbaner
- DSB's S-togs stationer
- Metrostationer
- Lufthavne, der betjener de væsentligste indenrigs-rutefly
- Færgehavne, der betjener de væsentligste færgeruter
- Malmö og Ystad

Vejafstandene mellem byerne i TEMA er beregnet og lagt ind i en afstands-matrix. Ved afstandsberegningen er det antaget, at der vælges den hurtigste rute. De antagne hastigheder er angivet i Tabel 13-1. De hastigheder, der er anvendt til beregning af ruten, er personbilshastigheder. For busser og lastbiler er hastigheden på motorvej lavere end for personbiler. Det vurderes imidlertid, at de beregnede ruter i rimeligt omfang vil afspejle de faktiske ruter for lastbiler. For busser vil den hurtigste rute derimod ofte undervurdere køreafstanden fra et punkt til et andet, da busruter planlægges efter andre kriterier end tiden.

Vejafstanden mellem hvert par af byer er yderligere opdelt på 6 vejtyper samt på land og by, i alt 12 vejtyper.

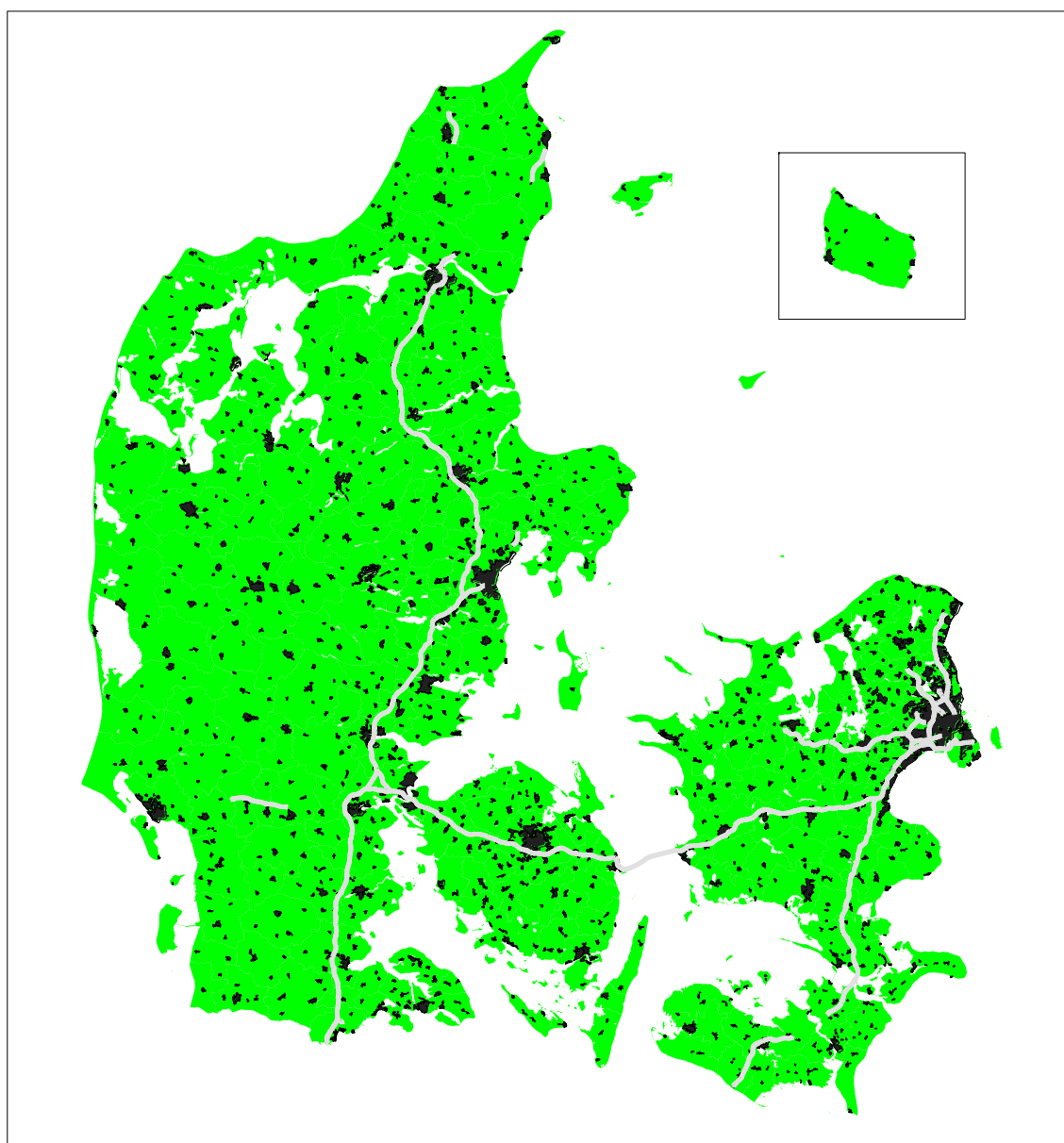
Beregningerne er baseret på Dansk Adresse & Vejdatabase (DAV) samt en vektor version af Danmarks Digitale Ortofoto (DDO) begge fra Kampsax Geoplan. DAV er et landsdækkende vejkort med adresseintervaller. DDO er et landsdækkende ortofoto, hvor arealanvendelsen er blevet opgjort i form af by- og landzonepolygoner. Databaserne er kombineret i et GIS-system, sådan at vejstrækningerne er blevet opdelt mellem by og land. Se eksempel i Figur 13-1

I DDO-vektor gælder flg. byzonedefinition: Alle bebyggede områder større end 0,3 km², samt industriområder under 1,5 km² er byzone. En ejendom er indenfor byzonen, hvis afstanden mellem to tilstødende bygninger er under 100 m, eller mere, hvis denne længere afstand skyldes kirkegårde, sports-, parkeringspladser, parker, jernbanearealer eller bebyggelsesområder under opbygning. Hvis to tilstødende byzoner ligger tættere på hinanden end 500 m og deres totale areal overstiger 0,3 km², er begge arealer registreret.

Tabel 13-1 Benyttede hastigheder ved beregning af hurtigste rute.

Benævnelse	Hastighed land (km/t)	Hastighed by (km/t)
Motorvej	120	110
Motortrafikvej	90	70
Primære ruter > 6m	80	50
Sekundære ruter > 6 m	70	40
Veje 3 m < bredde < 6m	60	40
Andre veje	50	40

Figur 13-1 TEMAs byzoner fra DDO, samt motorvejsstrækninger fra DAV.



For at vurdere de gennemsnitlige rejsehastigheder på hhv. 30 km/t, 70 km/t og 110 km/t for by, land og motorvej, er der foretaget en delanalyse af rejsehastigheder i Transportvaneundersøgelsen (TU).

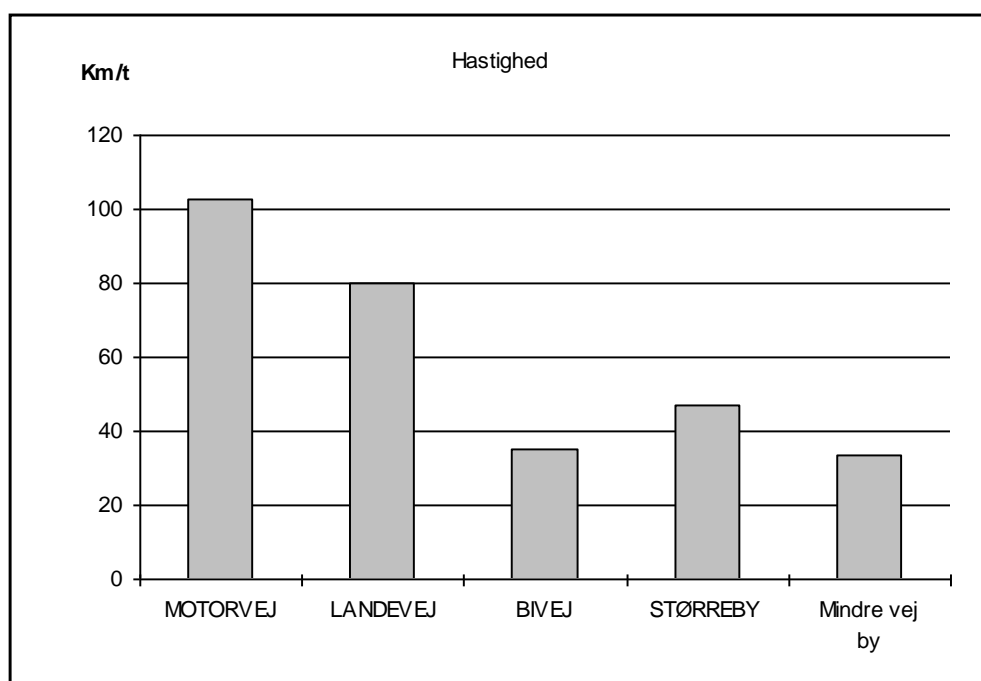
Ved at kombinere TU-data fra 1995, hvor respondenterne har rapporteret rejsetid og rejselængde, er det med afstandsmatricen muligt at beregne, hvor hurtigt den gennemsnitlige rejsehastighed på de enkelte vejtyper skulle være for at passe med det, respondenterne opgiver.

I forbindelse med opdatering til 2015 er der foretaget stikprøver for at kontrollere default rejsehastigheden med Google Maps. På regionale ture, f.eks. Holbæk - Ringsted, er der god overensstemmelse mellem rejsehastighederne fra TEMA2015 og Google Maps. På lange motorveje regner TEMA2015 regner med lidt hurtigere hastighed i forhold til Google Maps. På den anden side viser

en undersøgelse fra Vejdirektoratet²⁴ gennemsnitlige rejsehastigheder der er lidt højere end de der anvendes i TEMA2015. På denne baggrund er det vurderet, at der ikke er grundlag for at opdatere default rejsehastighederne.

Figuren nedenfor viser rejsehastigheder på baggrund af Transportvaneundersøgelsen fordelt på vejtyper.

Figur 13-2 Rejsehastigheder på baggrund af Transportvaneundersøgelsen fordelt på vejtyper.



13.2 Emissioner fra elproduktion

13.2.1 Elforsyning - kort overblik

I Danmark opgør Energistyrelsen kraftværkernes samlede input af brændsel til produktion af el og varme. Via emissionsfaktorer for brændslet beregnes tal for de samlede emissioner. Eftersom der er tale om en samproduktion af el og varme, opstår de væsentligste metodespørgsmål, når emissionerne skal opgøres for elproduktionen alene. Der er ikke nogen entydig måde at opgøre dette på. Det er nødvendigt at gøre en række antagelser på forskellige områder, hvor de væsentligste er:

- Fordeling af brændslet mellem el og varme
- El-import og eksport
- Gennemsnitsbetragtning kontra marginalbetragtning

²⁴ Vejdirektoratet (2008): 130 km/t på motorveje, Virkning på faktisk hastighed, uheld og miljøbelastning

Disse forklares nedenfor, men først beskrives el-produktionsprocessen overordnet.

Brændselsforbrug	Først bliver brændslerne udvundet fra undergrunden og transporteret til elværkerne. Der forekommer et tab i forbindelse hermed, dette tab betegnes opstrømsenergi. Det samlede brændselsforbrug er summen af det indfyrede brændsels brændværdi. Denne energimængde angives som konvention altid i MJ. Alle energital i MJ i TEMA referer således til brændværdien af det indfyrede brændsel, også for benzin- og dieselkøretøjer.
El-produktion	Dernæst producerer kraftværkerne el og varme. Dette foregår på store centrale anlæg og på mindre decentrale anlæg, samt hos private producenter. Derudover produceres der el fra vindmøller og vandkraftanlæg. I følgende benyttes betegnelsen kWh _{EL} for nettoelproduktion, f.eks. i forbindelse med emissioner pr. produceret energienhed. Andre steder benyttes betegnelsen kWh af værk.
Konverteringstab	I forbindelse med konverteringen på kraftværkerne fra brændsel til el og varme forekommer der et tab, som udgør forskellen mellem brændselsforbruget og produktionen. Forholdet mellem output (produktion) og input (brændselsforbrug) betegnes virkningsgrad og er afhængig af metoden til brændselsfordeling.
Distribution	Til sidst distribueres strømmen fra elværkerne til forbrugerne. Her forekommer et tab, som er forskellen mellem den målte indenlandske forsyning (= nettoelproduktion - nettoeksport) og det målte endelige forbrug (inkl. forbrug ved anden energiproduktion). Distributionstabet var i 2008 på 5 procent ²⁵ . Distributionstabet antages uændret i 2015.
Forbrug	DSB har målt deres forbrug på en omformerstation i nærheden af banenettet. Disse målinger betegnes kWh _M . Når strømmen distribueres fra denne omformer til toget, forekommer der et køreledningstab. Dette er ifølge foreløbige opgørelser fra DSB på 5 procent.

Endelig konverteres den elektriske energi i toget til motorarbejde (PO = Power Output), hvor der også forekommer et tab i processen. Dette tab regnes automatisk med i TEMA, da det indgår i det energiforbrug, der måles.

13.2.2 Metodeovervejelser

I forbindelse med metodevalg til opgørelse af emissioner fra elproduktionen vælges typisk imellem en gennemsnitsmetode og en marginalmetode. De to metoder beskrives herunder.

Gennemsnitsmetode	Når emissioner udregnes som gennemsnitsbetragtninger, tages det samlede årlige udslip fra alle produktionssteder, som divideres med det årlige elforbrug. Det er denne metode der anvendes som default i TEMA2015.
-------------------	--

²⁵ Kilde: Energinet.dk, datamateriale til miljørapport 2009, figur 41.

Marginalmetode

I en situation, hvor der skal tages beslutninger om kortvarige ændringer i anvendelse af el, kan det være relevant at se på emissionerne ved marginal elproduktion.

Når emissioner udregnes på baggrund af den marginale elproduktion tages der udgangspunkt i de værker der sættes ind ved større efterspørgsel eller tages ud ved faldende efterspørgsel.

Marginalmetoden kompliceres af, at sammensætningen af den marginale elproduktion henover et døgn varierer mellem forskellige værker og produktionsmetoder. I perioder om natten er det varmeefterspørgslen, der styrer produktionen, i perioder om dagen er det el-efterspørgslen, der styrer produktionen. Hvor og hvordan produktionen foregår, kaldes en lastfordeling.

Det kan let blive upræcist, hvis man forsøger at håndtere begrebet marginal elproduktion. Det vil være mere gennemskueligt at tale om produktionsteknologier og beregne emissionsfaktorer for disse.

Import / Eksport

En del af nettoelproduktionen udveksles med udlandet, sådan at der i nogle år er nettoeksport, i andre år nettoimport. Import - eksport kan variere henover døgnnet, men for at forenkle beregningerne regner Energistyrelsen med nettoimport / eksport over et år.

Når der eksportkorrigeres, fratrækkes emissionerne ved denne eksportproduktion de samlede emissioner, fordi der ønskes en opgørelse af, hvad dansk forbrug leder til af emissioner. Energistyrelsen anser nettoeksport for at være produceret på de marginale værker, dvs. kulfyrede kondensværker.

Omvendt, hvis der skal korrigeres i et år med nettoimport, vil man regne med, hvordan strømmen er produceret i udlandet. Typisk vil der være tale om vandkraft.

Virkningsgrader

Virkningsgrader opgøressom:

$$\eta_{\text{samlet}} = \frac{Q_{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

$$\eta_{\text{el}} = \frac{Q_{\text{el}}^{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

$$\eta_{\text{varme}} = \frac{Q_{\text{varme}}^{\text{produktion}}}{Q_{\text{primær}}}$$

hvor det ses, at virkningsgraderne er uafhængige af brændselsfordelingen.

Den mængde primærenergi, der går til produktionen af 1 kWh_M hos forbrugeren, beregnes som:

$$\frac{Q_{\text{primær}}}{Q_{\text{forbrug}}} = \frac{1}{1-l_d} \times \frac{Q_{\text{el}}^{\text{primær}}}{Q_{\text{el}}^{\text{produktion}}} \times 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}_M} \right]$$

hvor l_d er distributionstabet i procent.

Distributionstabet opgøres som distributionstab i forhold til den indenlandske forsyning. Begge begreber er fra Energistatistikken, således at:

$$l_d = \frac{Q_{distributionstab}}{Q_{indenlandsk\ forsyning}}$$

Emissionsfaktorer i TEMA opgøres (principielt) for hver emissionstype, l , således:

$$E_l^E = \frac{\sum_k E_{primær}^{E,k,l} \times M_{primær}^k}{Q_{endeligt\ forbrug}^{el}} \left[\frac{g}{kWh_M} \right]$$

hvor $M_{primær}^k$ er brændselsforbruget på det k 'te kraftværk og $E_{primær}^{E,k,l}$ er værk- og brændselsspecifikke emissionsfaktorer.

Det er kun den del af brændselsforbruget, der tilskrives elproduktionen, som medregnes, hvilket som nævnt ovenfor er metodeafhængigt. Derudover er brændselsforbrug til eksport fratrukket.

13.2.3 Anvendt metode og emissionsfaktorer

Metode

TEMA2015 regner med gennemsnitsstrøm som default. Brugeren har dog mulighed for at vælge marginal elproduktion eller definere en helt tredje elproduktion.

Emissionsfaktorerne er beregnet på baggrund af Energistyrelsens prognose om beregningsforudsætninger²⁴ fra oktober 2012.

Anvendte faktorer

Samlet set giver dette anledning til el-emissionsfaktorer i TEMA, som er vist i nedenstående tabel

Tabel 13-2 Data for marginal og gennemsnitlig dansk elproduktion og anvendte el-emissionskoefficienter 2012.

Produktions-Metode	gCO ₂ /kWh	mgCO /kWh	mgHC /kWh	mgSO ₂ /kWh	mgNO _x /kWh	mgPM /kWh
Marginal						
Gennemsnit	276	372	33	220	421	14
Brugervalgt						

Kilde: CO₂, SO₂ og NO_x fra Energistyrelsens prognose²⁶. CO, VOC og Partikler fra TEMA2010.

²⁶ Regneark med tabellerne (xlsx-fil) om beregningsforudsætningerne fra oktober 2012.

13.3 Opstrøms emissioner

TEMA2015 kan regne både med og uden opstrømsmissioner. Når man regner uden opstrømsmissioner medregnes alene de emissioner der kommer ud af udstødningsrør. For at sidestille konventionelle drivmidler med biobrændstoffer regner modellen således, at når man ikke medregner opstrøms emissioner, medregner modellen alle de emissioner der kommer ud af udstødningsrør uanset om der er tale om biobrændstoffer eller konventionelle brændstoffer.

Opstrømsmissioner er beregnet på baggrund af Energistyrelsens model til beregning af Alternative drivmidler, version oktober 2014.

Nedenstående tabel viser hvilke emissioner der tillægges når der regnes med opstrømsmissioner fra el til de forskellige drivmidler.

Tabel 13-3 Opstrømsmissioner

	Benzin	Diesel	Biodiesel 1. generation	Biodiesel 2. generation	CNG	BioGas
gCO ₂ /GJ	12.5	16.2	13.8	-127.3	14.4	-256.9
gNO _x /GJ	0.112	0.112	0.232	0.071	0.010	0.082
gVOC/GJ	0.058	0.076	0.065	0.065	0.067	0.067
gCO/GJ	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006
gPA/GJ	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000
gSO ₂ /GJ	0.001	0.000	0.001	-0.014	0.000	0.004

13.4 Litteratur

COWI (2010): TEMA2010 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, Teknisk rapport, 2010.

Energistyrelsen (2007): Teknologivurdering af alternative drivmidler til transportsektoren

Energistyrelsen (2011): Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger.

Energistyrelsen (2012): Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger, opdaterede tabeller.

Energistyrelsen (2014): Alternative drivmidler i transportsektoren 2.1.

Vejdirektoratet (2008): 130 km/t på motorveje Virkning på faktisk hastighed, uheld og miljøbelastning

14 Appendiks 1: Sammenvejning af miljøeffekter.

Det er valgt at lade emissioner fra elproduktion indgå i beregningerne på samme måde som emissioner fra de enkelte transportmidler. Dette er samme praksis, som der anvendes i MEET. Det rejser imidlertid to spørgsmål:

- Er der tale om de samme emissioner?
- Har emissioner fra transportmidler samme miljøeffekt som emissioner fra kraftværker?

Partiklerne i emissioner fra biler er meget små, primært mindre end $PM_{2,5}$. Partikelemissioner fra kraftværker måles traditionelt som støv, der medregner alle størrelser af partikler. Da de danske kraftværker i dag er forsynet med partikelfiltre og afsvovningsanlæg, der sorterer de store partikler fra, vil hovedparten af partikelemissionerne fra elproduktion også være $PM_{2,5}$.

Det andet spørgsmål hænger sammen med, at emissionernes miljøeffekt afhænger af, hvor mange mennesker, der udsættes for emissionen. Man ved, at emissioner, der sker i byområder, har større miljøeffekt end emissioner, der sker ude på landet. Det skyldes, at flere mennesker udsættes for emissionerne i byområder end uden for byområder. TEMA skelner derfor mellem emissioner i byområder og emissioner uden for byområder.

Der foreligger undersøgelser, der viser at de emissioner, der udsendes fra en kraftværksskorsten, er mindre skadelige end de tilsvarende emissioner, som udsendes fra et udstødningsrør på en bil²⁷. Disse forskelle er det ikke umiddelbart muligt at indregne i TEMA2015, idet TEMA2015 ikke skelner mellem emissioner der udsendes fra udstødningsrøret på en bil og emissioner der udsendes fra skorstenen på et kraftværk.

²⁷ DCE (2014): Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet (December 2014), Baggrundsnotat til udvikling af MIRESA.

14.1 Skadesvirkninger af emissioner

De væsentligste skadevirkninger fra transportsektorens emissioner er kort summeret i Tabel 14-1.

Tabel 14-1 Skadevirkninger fra emissioner

Emission-skade	Partikler (PM ₁₀)	NO ₂ /NO _x	SO ₂	HC	CO	HC CO ₂	Carcinogener ^{a)}
Dødelighed	+		(+)	+			(+)
Sygelighed	+	+	(+)	+	(+)		
Landbrug		(+)		(+)			
Skovdød		+	+				
Bygnings-skader	+	+	+				
Klima-effekt						+	

+: Væsentlig effekt (+): Mindre væsentlig effekt

a) Kræftfremkaldende stoffer, specielt: Benzen (C₆H₆), 1,3 Butadiene, PAH (på dieselpartikler), formaldehyd, ethen og ethylenoxid.

Kilde: Værdisætning af trafikens eksterne omkostninger - Luftforurening. Udkast COWI for Trafikministeriet, februar 1999.

Partikler

En af de væsentligste skades effekter af partikelemissioner er øget dødelighed bl.a. som følge af blodpropper.

Ved opgørelse af partikelemissioner medtages traditionelt den samlede masse af partikler uanset størrelsen. I relation til helbredsskader er primært de inhalerbare partikler, PM₁₀, med en diameter på under 10 µm, relevante, og opmærksomheden retter sig i stigende grad mod de mindre partikler, PM_{2,5}, og de endnu mindre ultrafine partikler, PM_{0,1}.

NO_x

NO_x er en samlebetegnelse for NO og NO₂. Hovedparten af trafikens NO_x-emissioner finder sted som NO, der ikke giver anledning til sundhedsmæssige effekter. I atmosfæren omdannes NO dog hurtigt til det mere sundhedsskadelige NO₂ ved reaktion med O₃ og frie radikaler.

NO bidrager via sur deposition til skader på skov samt korrosion af bygninger og materialer. Endvidere indgår NO_x sammen med HC i de kemiske reaktioner i atmosfæren, som fører til dannelse af jordnær ozon (O₃), der bl.a. påvirker landbrugsudbytte og giver sundhedsskader.

SO₂ Emissionerne af svovldioxid (SO₂) giver anledning til skader ad to veje. For det første direkte, idet SO₂ bidrager til skader på skov og korrosion af bygninger og materialer.

For det andet sker der i atmosfæren en omdannelse af SO₂ til sulfater (SO₄) på dråbeform, aerosoler, med meget lille diameter (< 1 µm). Disse aerosoler giver ved indånding anledning til samme skadesvirkninger som partiklerne, idet de deponeres i de yderste lungeforgreninger. Nyeste forskning tyder på, at aerosolerne på grund af syreindholdet kan have endnu højere skadelighed end det primære partikeludslip.

HC HC dækker over en lang række stoffer. VOC er den bredeste betegnelse. Den dækker alle reaktive organiske stoffer herunder HC, som principielt kun omfatter stoffer sammensat af kul og brint, dvs. med den kemiske formel C_xH_y. I samlede emissionsmålinger fra trafikken ignoreres skellen mellem VOC og HC som regel, idet de kvantitative forskelle er små sammenlignet med måleusikkerheden. I praksis er emissionskrav og -målinger opstillet som HC-værdier.

Der er stor forskel på skadeligheden af de forskellige stoffer, og nogle af de alvorlige, kræftfremkaldende stoffer udgør kun små andele af emissionerne.

Methan (CH₄), der er den simpleste kulbrinte, er ikke særlig reaktiv. Derfor opgør man også emissionerne uden methan under betegnelsen NMVOC eller NMHC²⁸. Den væsentligste skadelige effekt af CH₄ er som klimagas, hvor den normalt opgøres til 21 CO₂-ækvivalenter.

Ud over at bidrage til dannelsen af O₃ giver emissionen af de øvrige kulbrinter, der har fællesbetegnelsen NMVOC, også anledning til direkte skadeseffekter. Den væsentligste skadeseffekt har carcinogenerne, som kun forekommer i ganske små mængder, men som har betydning på grund af skadernes alvorlighed.

CO Hovedparten af CO-indholdet i luften stammer fra trafikken, specielt benzindrevne køretøjer. CO vil efterhånden omdannes til CO₂ i atmosfæren, og bidrager således indirekte til klimaeffekten.

De helbredsskadelige effekter opstår ved, at CO bindes til blodets hæmoglobin og forhindrer iltoptagelsen. Det vurderes ikke sandsynligt, at de CO-koncentrationer, der forekommer i gademiljøet i Danmark, giver anledning til helbredsmæssige effekter.

CO₂

²⁸ NMVOC = Non Methane Volatile Organic Compounds. NMHC = Non-Methane Hydro-Carbons

CO₂-udslippene fra forbrænding af fossile energikilder er den væsentligste bidragsyder til den menneskeskabte klimaeffekt. Da klimaeffekten skyldes en global stigning af CO₂-koncentrationen i atmosfæren på langt sigt, er det uden betydning, hvor emissionen finder sted. Atmosfærens CO₂-indhold har også direkte indflydelse på planternes vækst, men effekten er ubetydelig i forhold til de klimaændringer, som menneskeskabte CO₂-bidrag giver anledning til.

CO₂ er kun én af flere drivhusgasser. CH₄ og N₂O bidrager også betydeligt til drivhuseffekten. I de energikilder, der anvendes i disse år, er CO₂ imidlertid langt den vigtigste. En opgørelse fra DCE viser, at CO₂ udgør fra 96 - 99 procent af CO₂ ækvivalenterne på de mest almindelige transportformer. I Tabel 14-2 vises emissionerne af de tre klimagasser fordelt på transportmidler.

Tabel 14-2 Emissioner af klimagasser fordelt på CH₄, N₂O og CO₂.

Transportmidler	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	N ₂ O (%)
Personbiler	0,2	99,0	0,9
Varebiler	0,1	99,1	0,8
Lastbiler	0,2	98,5	1,3
Busser	0,2	98,6	1,2
Knallerter	3,7	95,7	0,5
Motorcykler	3,6	95,8	0,6
I alt	0,2	98,9	0,9