



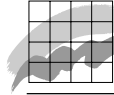
Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Analyse af emissioner fra vejtrafikken

Sammenligning af emissionsfaktorer og
beregningsmetoder i forskellige modeller

Faglig rapport fra DMU, nr. 265

[Tom side]



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

Analyse af emissioner fra vejtrafikken

Sammenligning af emissionsfaktorer og
beregningsmetoder i forskellige modeller

*Faglig rapport fra DMU, nr. 265
1999*

Morten Winther
Afdeling for Systemanalyse

Datablad

Titel: Analyse af emissioner fra vejtrafikken
Undertitel: Sammenligning af emissionsfaktorer og beregningsmetoder i forskellige modeller

Forfatter: Morten Winther
Afdeling: Afdeling for Systemanalyse

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 265

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser©

URL: <http://www.dmu.dk>

Udgivelsestidspunkt: Marts 1999

Faglig kommentering: Linda Christensen
Layout: Henriette Idskou
Elektronisk layout: Ann-Katrine Holme Christoffersen

Bedes citeret: Winther, M. (1999): Analyse af emissioner fra vejtrafikken. Sammenligning af emissionsfaktorer og beregningsmetoder i forskellige modeller. Danmarks Miljøundersøgelser. 120 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 265

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Abstract: I denne rapport analyseres vejtrafikken nutidige emissioner og emissionsprognoser for varmstart og koldstart ud fra relevante modeller for Danmark og danske emissionsmålinger. Vægten lægges specielt på emissioner fra nyere konventionelle benzinerbiler og katalysatorbiler. For varme emissioner sammenlignes den tysk/schweiziske model "German Workbook of Emission Factors", EU-modellen COPERT II, den danske DTU-model og danske emissionsmålinger. Der er en god overensstemmelse mellem modellernes CO- og VOC emissionsfaktorer, hvorimod der er større forskelle for NO_x. Koldstartsemissionerne i den tysk/schweiziske model beskrives som funktion af kørt strækning, holdetider før start og udetemperatur. Totale koldstartsberregninger giver relativt store forskelle mellem den tysk/schweiziske model og COPERT II. Ud fra fordele og ulemper ved den tyske prognosemodel TREMOD og den danske prognosemodel BILEMIS diskuteres kravene til en revideret dansk prognosemodel. Kravene omfatter en bl.a. en fleksibel håndtering af prognoseparametrene trafik, bestand og emissionsfaktorer, så prognoser kan beregnes for vilkårlige køretøjskategorier og prognoseperioder.

Frie emneord: Emissioner, vejtrafik, varmstart, koldstart, emissionsprognoser, CO, VOC, NO_x, partikler, Workbook, COPERT II, DTU-modellen, TREMOD, BILEMIS, danske emissionsmålinger.

Redaktionen afsluttet: Februar 1999

ISBN: 87-7772-446-1
ISSN(trykt): 0905-815X
ISSN(elektronisk): 1600-0048

Papirkvalitet: Cyclus Office
Tryk: Hvidovre Kopi
Sideantal: 120
Oplag: 100
Pris: kr. 100,- (inkl. 25% moms, ekskl. forsendelse)

Købes i boghandelen eller hos: Danmarks Miljøundersøgelser
Postboks 358
Frederiksborgevej 399
DK-4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00

Miljøbutikken
Information og Bøger
Læderstræde 1
1201 København K
Tlf.: 33 37 92 92
Fax: 33 92 76 90
E-mail: butik@mem.dk
URL: www.mwm.dk/butik

Indhold

Sammenfatning 5

- Formål 5
- Fremgangsmåde 5
- Emissionsmodeller og deres anvendelse 6
- Målinger og modeller for emissionsfaktorer 7
- Emissionsfaktorer 8
- Emissioner for koldstart 9
- Emissionsprognoser 10

Summary 12

1 Formål og opbygning 19

2 Emissionsmodeller og deres anvendelse 21

- 2.1 Elementer til en emissionsberegning 21
- 2.2 Om emissionsmodeller 22
- 2.3 Krav til emissionsberegninger 22

3 Målinger og modeller for emissionsfaktorer 25

- 3.1 Det tysk/schweiziske emissionsmåleprogram 25
 - 3.1.1 Inddeling i køretøjskategorier 25
 - 3.1.2 Varmstart emissioner 29
 - 3.1.3 Koldstart tillæg 30
 - 3.1.4 Hældning af vejnettet 31
 - 3.1.5 Stop and Go kørsel 33
 - 3.1.6 Lastegradens indflydelse på tunge køretøjers emissionsfaktorer 34
 - 3.1.7 Forværrelsesfaktorer 34
- 3.2 Andre måleprogrammer 34
 - 3.2.1 COPERT II 34
 - 3.2.2 DTU modellen 37
 - 3.2.3 Danske emissionsmålinger 39

4 Emissionsfaktorer 40

- 4.1 Emissionsfaktorer fra modeller anvendt i Danmark 40
- 4.2 Workbook of Emission Factors (WB) 41
 - 4.2.1 Kategori, koncept og strata for køretøjer 42
 - 4.2.2 Køremønstre, trafiksituationer og trafiksammensætning 42
 - 4.2.3 Referenceår og fremtidige scenarieår 45
 - 4.2.4 Emissionstype 46
 - 4.2.5 Emissionskomponenter 47
 - 4.2.6 Last på tunge køretøjer og hældning af vejnet 48
- 4.3 Sammenligning af emissionsfaktorer for rejsehastigheder 48
 - 4.3.1 Konventionelle benzinbiler 50
 - 4.3.2 Varmstartemissionsfaktorer for katalysatorbiler 54
 - 4.3.3 Varmstartemissionsfaktorer for dieslbiler 60
 - 4.3.4 Diskussion af emissionsberegninger 65
- 4.4 Emissionsfaktorer for rejsehastigheder contra trafiksituationer 68

5 Emissioner for koldstart 71

- 5.1 Analyse af koldstartstillæg i WB 71
- 5.2 Koldstartsberregning med WB 84
- 5.3 Koldstartsberregning med COPERT II 87
- 5.4 Sammenligning af samlede koldstartsemissioner med WB og COPERT 91

6 Emissionsprognoser 99

- 6.1 Generelt om emissionsprognoser 99
- 6.2 Prognosemodellen TREMOD's beregningsprincip 100
- 6.3 BILEMIS prognosemodellens beregningsprincip 102
- 6.4 Sammenligning af TREMOD og BILEMIS modelmetoderne 103
- 6.5 Emissionsfaktorer fremskrevet til prognoser 105
 - 6.5.1 Emissionsfaktorer for varmstart 106
 - 6.5.2 Overemissioner ved koldstart 111

Referencer 114

Bilag 117

Sammenfatning

Formål

I denne rapport analyseres vejtrafikkens aktuelle emissioner og emissionsprognoser for varmstart og koldstart på baggrund af modeller for Danmark og danske emissionsmålinger.

Første delformål er at analysere de varme emissionsfaktorer fra fire kilder nærmere som input til totalberegninger. Ved analysen sammenlignes baggrundsdata fra emissionsmodellen "German Workbook of Emission Factors", version 1.1 (Keller m.fl., 1995), forkortet WB og den europæiske model COPERT II (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, Ahlvik m.fl., 1997). I sammenligningen inddrages også den danske DTU-model (Sorenson, 1992) samt danske emissionsmålinger udført af Hansen og Winther (1993). Køretøjerne er nyere konventionelle (ECE 15/04) og EURO I benzin- og dieselpersonbiler. Vægten lægges specielt på WB's resultater.

Et andet formål er at analysere WB's koldstartstillæg i detaljer for benzinpersonbilerne, der oftest bruges i den danske trafik. Forskellene mellem de beregnede overemissioner fra WB og COPERT II skal bestemmes for en beregningssituation, og ud fra emissionsresultatet skal præcisionen af koldstartsberegningsmetoderne diskuteres.

Rapportens tredje delformål er at fastlægge kravene til en dansk prognosemodel for vejtrafikkens emissioner. Dette gøres ud fra en overordnet gennemgang af principperne bag den danske prognosemodel BILEMIS (Sorenson og Schramm, 1990) og den tyske prognosemodel TREMOD (Traffic Emission Estimation Model, FEA, 1995) samt kendskabet til trafik- og bestandsdata på nationalt niveau.

Fremgangsmåde

Indledningsvist gives en teoretisk gennemgang af emissionsmodeller og deres anvendelse ved forskellige detaljeringsgrader for totalemissionsberegninger. Forbindelsen mellem emissionsmålinger og emissionsfaktorer gennemgås kort frem til beregningen af totalemissioner og emissionsprognoser for vejtrafikken. Detaljeringsgrad og krav til præcision beskrives nærmere for forskellige former for emissionsberegninger, der strækker sig fra simple totalopgørelser for et større område til emissionsberegninger for et enkelt køretøj i en bygade.

Næste trin er at beskrive WB-, COPERT II og DTU-modellerne og måleprogrammerne bag samt de danske emissionsmålinger. Beskrivelsen omfatter måleprogrammernes opbygning og modellernes simuleringsprincip for de modellerede emissionstyper og emissionskomponenter samt opdelingen i køretøjskategorier og deres underinddelinger (strata).

Herefter beskrives nærmere for hvilke strata, køremåder m.m. modellerne anviser emissionsfaktorer. Modellernes varme emissions-

faktorer for benzin- og dieselpersonbiler sammenlignes på kurver. Forskelle i emissionsresultater belyses ved et regneeksempel for de mest almindelige benzinpersonbiler. Følsomheden af at bruge trafiksituationer i stedet for rejsehastigheder som bestemmende emissionsparameter undersøges også.

Efter at analysen af de varme emissioner er gennemført, behandles emissionerne ved koldstart. WB's koldstartsemissioner beskrives som funktion af kørt strækning, holdetider før turstart og udetemperatur for de samme benzinpersonbiler som i analyserne af varmstartsemissionerne. Ud fra Transportvaneundersøgelsen (TU) (1998) beregnes de ekstra emissioner ved koldstart med WB og COPERT for et udsnit af personbilture. De to modellers resultater sammenlignes, og præcisionen af koldstartsberegningerne diskuteres.

Sidste del af rapporten omhandler emissionsprognoser. Det beskrives, hvordan TREMOD og BILEMIS modellerne håndterer essentielle prognoseparametre såsom nysalg, gennemsnitlige levetider og overlevelseskurver samt trafikarbejdet og dets fordeling på strata og køremåder. Hertil kommer, hvordan emissionsfaktorerne tilpasses prognoseberegningen per strata, køremåde og prognoseår, og hvordan den endelige beregning af varme og kolde emissioner samt fordampning forløber. Ud fra modellernes fordele og ulemper diskuteres hvilke krav, der bør stilles til en dansk emissionsprognose. I samme kapitel vises også (for både varmstart og koldstart), hvordan emissionsfaktorer er fremskrevet til prognoseberegninger i konkrete trafikforskningsprojekter.

Emissionsmodeller og deres anvendelse

Emissionsberegninger kan udføres på forskellige niveauer med forskellige typer af modeller.

Totalemissionsberegninger og emissionsprognoser for et geografisk område har den mindste detaljeringsgrad. I denne situation er det snarere trenden i emissionerne end deres absolutte niveau, der efterspørges. Det overordnede beregningsniveau gør, at emissionsfaktorer for trafikens gennemsnitshastigheder er fuldt ud tilstrækkelige. De samme emissionsfaktorer kan også bruges på gadeniveau. Hvis de aktuelle køremønstre ikke kendes, må trafikken antages at blive afviklet gennemsnitligt, og emissionsberegninger må gennemføres ud fra gadens aktuelle rejsehastighed.

Gadeemissionsberegninger på basis af køremønstret i gaden skal foretages med forsigtighed, da de reelle køremønstre i gaden er vanskelige at kortlægge præcist nok. Pga. forskelle mellem udvalgte køremønstre og gadens faktiske køremønstre kan de beregnede emissioner vise sig at være anderledes end emissionerne fra det virkelige køremønster. Det er derfor nødvendigt med mange køremønstre på forskellige tidspunkter i gaden, hvis emissionerne skal beregnes med tilstrækkelig nøjagtighed. Det er også nødvendigt, at modellen indeholder store mængder emissionsdata. Modellens emissioner for udvalgte køremønstre skal svare til de øjeblikkelige emissioner for gadens repræsentative køretøjer med tilhørende køremønstre.

Til beregning af emissioner for et enkelt køretøj og en specifik køresituation kræves konkrete oplysninger om køretøjets emissioner som funktion af hastighed og acceleration. Emissionsresultatet fundet på basis af kontinuerte emissioner vil ofte afvige væsentligt fra resultatet, når gennemsnitlige emissionsfaktorer anvendes. I denne situation er det ikke tilstrækkeligt at bruge emissionsfaktorer, der udelukkende afhænger af rejsehastigheden.

Målinger og modeller for emissionsfaktorer

Bag WB, COPERT II og DTU-modellen ligger måleprogrammer, der danner basis for de opstillede emissionsfaktorer. Som grundlag for WB er emissionsmålinger og køremønstreanalyse udført indenfor 8 køretøjskategorier: personbiler, varebiler, lastbiler (sololastbiler, lastbiler med anhænger og lastbiler med sættevogn), turistbusser, rutebusser og tohjulede køretøjer. Køretøjskategorierne er underinddelt i koncepter, der også beskriver det benyttede drivmiddel og køretøjets teknologiske niveau. Koncepterne er videre inddelt i strata med samme emissions- og energiforhold, hvor emissionsnorm, motorstyrrelser og totalvægt tages i betragtning.

I måleprogrammet er varme emissionsmålinger udført på rullefelt med standardkørecykler for 286 personbiler og 31 varebiler. Emissionsfunktioner proportionale med energiforbruget dannes per strata. Funktionerne indeholder emissioner og energiforbrug ved øjeblikkelige hastigheder og accelerationer. Med funktionerne simuleres emissionsfaktorer for et bredt udvalg af den virkelige trafiks køremønstre. Trafikanalysen har fastlagt repræsentative trafiksituationer som procentdele af de målte køremønstre. Emissionsfaktorer per trafiksituation beregnes ud fra procentdelene af de indgående køremønstres emissionsfaktorer.

I alt 34 motorer for tunge køretøjer er testet i en prøvebænk, og emissioner og energiforbrug er målt ved forskellige drejningsmomenter og motorhastigheder. Motorens driftstilstand transformeres til øjeblikkelige hastigheder og accelerationer på vejen med et modelleret energiforbrug. Omtrent 300 forskellige tunge køretøjers kørselsprofil simuleres på denne måde. Emissionsfunktioner proportionale med det målte energiforbrug (og justeret med det modellerede forbrug) dannes, og emissionsfaktorer beregnes for alle strata, køremønstre og trafiksituationer.

Mindre måleprogrammer fremskaffer data for koldstarters emissioner og energiforbrug, vejens hældning og køkørsel. Herudfra justeres basismålingerne for varmstart efter en speciel metode, så alle strata og trafiksituationer omfattes. Basismålingerne nedskrives også til fremtidige emissionsnormer samt korrigeres som funktion af motorlid og tunge køretøjers lastegrader.

COPERT II modellen indeholder posemålinger af 2.118 personbiler og 52 varebiler opsamlet under 46 repræsentative testcykler på 8 forskellige laboratorier i Europa. Emissionsfaktorerne dannes ud fra den i alt opsamlede emission og køremønstrets længde. For tunge køretøjer bruges WB's målinger. I COPERT inddrages også effekten af koldstart, vejens hældning og tunge køretøjers lastegrader.

DTU modellen indeholder kontinuerte emissions- og energiforbrugsmålinger fra 10 katalysatorbiler, 59 nyere konventionelle benzinbiler og nogle få dieslbiler. Emissioner og energiforbrug ved øjeblikkelige hastigheder og accelerationer kobles til køremønstre opsamlet i den danske trafik. Emissionsfaktorer beregnes for køremønstrene som summen af de enkelte emissionselementer. For tunge køretøjer simuleres lastbilers og bussers emissionsfaktorer ud fra målinger af motorerne i prøvebænk, der omsættes til virkelige køremønstre.

De danske emissionsmålinger er udført på rullefelt for personbiler, i alt 11 katalysatorbiler og 10 konventionelle benzinbiler. I måleprogrammet er de samme køremønstre brugt som i DTU modellen for personbiler. Køremønstrene indeholder hastigheder op til 110 km/h og er udvalgt med en passende variation i tomgang, konstant hastighed, acceleration og deceleration.

Emissionsfaktorer

CO-, VOC-, NO_x- og partikelemissionsfaktorer (kun diesel) er sammenlignet på tilnærmede kurver for nyere konventionelle og EURO I benzin- og dieselpersonbiler som funktion af rejsehastigheden. Der er forskelle mellem kurvernes beliggenhed for de fire måleprogrammer, men forskellene kan forklares tilfredsstillende ud fra kendskabet til de enkelte forsøg. NO_x-emissionsfaktorerne bestemmes relativt upræcist i de fire måleprogrammer i forhold til faktorerne for CO og VOC.

Overordnet set er der størst usikkerhed ved emissionsfaktorerne for meget lave (typisk for køkørsel) og høje rejsehastigheder, hvor emissionsmålingerne er få. I disse trafiksituationer er det vigtigt at undersøge hvilke køremønstre, testbiler og simuleringsprincipper, der ligger bag modellernes emissionsfaktorer, så beregningsforudsætningerne passer så præcist som muligt. For atypiske køremønstre og biler, kan rejsehastighedsafhængige emissionsfaktorer ikke bruges ved beregningen. I stedet skal emissionen måles for køremønstret eller simuleres med en model. I den forbindelse skal det nøje overvejes, om de målte eller simulerede emissioner bliver repræsentative for udslippet i gaden.

Ved et beregningseksempel for benzinbiler afspejler emissionsresultaterne brugen af forskellige kilder. Der er især forskelle, når resultaterne sammenlignes individuelt for kørslen i by, på landet og på motorvej. Forskellene jævnes dog noget ud, når emissionerne for alle tre køremåder summeres op. Generelt viser beregningseksemplet at WB- og COPERT-emissionerne ligger på samme niveau for typiske biler og gennemsnitshastigheder. Når modellerne inkluderer tilstrækkeligt mange emissionsdata, bliver rejsehastigheden altså en god parameter at bruge. Dette gælder ved moderate hastigheder, hvor totalemissionen skal beregnes uden kendskab til de præcise køremønstre.

Beregningseksemplet underbygger analyserne af emissionskurverne. Her ses en god overensstemmelse mellem COPERT- og WB-emissionsfaktorerne for rejsehastigheder mellem 30 og 100 km/h.

Dette gælder især for CO og VOC, mens usikkerheden er større for NO_x. For rejsehastigheder under 25 km/h og over 100 km/h er der fortsat stor usikkerhed på emissionsfaktorenes niveau.

Følsomheden ved at bruge trafiksituationer i WB i stedet for gennemsnitshastigheder er undersøgt ved at optegne CO-, VOC- og NO_x-emissionsfaktorerne for katalysatorbiler på samme figurer som de tilnærmede kurver. Ved en totalemissionsberegning fordeles de samlede kørte km ud på WB's forskellige trafiksituationer. Det samlede resultat og en "vægtet emissionsfaktor" nærmer sig dermed den gennemsnitlige kurve.

Anstrengelserne ved at indhente oplysninger om trafikens afvikling i forskellige trafiksituationer bliver derfor store i forhold til præcisionen af den samlede beregning. Trafiksituationerne kan ikke bestemmes præcist nok, og det samlede beregningsresultat vil alligevel gå mod et gennemsnit. I stedet for trafiksituationer er det derfor bedre at bruge rejsehastigheden som parameter og acceptere forskellen mellem den gennemsnitlige emissionsfaktor og de mange forskellige emissionsfaktorer, der dækker den virkelige trafik.

Emissioner kan godt beregnes med WB i enkeltituationer, når disse svarer til de danske trafiksituationer. Ved beregningen skal emissionsfaktorerne vægtes ud fra stratasammensætningen i den danske trafik. WB's stratasammensætning kan ikke bruges, da den udelukkende gælder for den tyske trafik.

Emissioner for koldstart

Ud fra et bykøremønster med en rejsehastighed på 37,2 km/h er ECE 15/04 bilernes og katalysatorbilernes overemissioner ved koldstart beregnet i WB. Beregningen er gjort for CO, VOC og NO_x ved udetemperaturerne -10, -5, 0, 5, 10, 15 og 20 °C. For hver udetemperatur er overemissionen beregnet, når køretøjet har kørt 1, 2, 3, 4 km og frem til bilen er helt varm efter at have kørt over 4 km. Beregningerne er gentaget for hver af holdetiderne 0-1 timer, 1-2 timer osv. frem til en holdetid på over 8 timer.

Generelt har holdetiden en stor betydning for CO- og VOC-overemissionen, jo længere holdetid des større emissioner. For VOC har især stigningen i holdetider fra 1 til 4 timer betydning. I CO's tilfælde sker der en væsentlig stigning i overemissionen for holdetider helt op til 7 timer. Ved de korte holdetider under 1 time er koldstartstillægget beskedent. Ved alle udetemperaturer bliver langt det meste CO- og VOC-overemission skabt under de første 2 km af koldstartens længde.

Billedet af NO_x-overemissionerne er mere komplekst. For ECE 15/04 bilerne stiger NO_x-overemissionen næsten lige meget for hvert spring i holdetiderne.

Ved kørsel med kold motor bliver ECE 15/04 bilernes NO_x-overemission mere og mere negativ frem til 3 km kørsel. ECE 15/04 bilerne har altså lavere NO_x-emissioner i kold tilstand end i varm tilstand. Mod forventning falder overemissionen ifølge WB igen, når

bilerne har kørt 3 km og længere. Dette mønster gentages for alle holdetider. Tages det numeriske fald for pålydende, emitterer bilerne mere NO_x på den sidste del af koldstarten, end de gør i varm tilstand. Forholdet må skyldes en fejl i WB's koldstartsmodule, da den allerede skabte overemission ikke kan fjernes, når motoren gradvist bliver varmere.

Katalysatorbilernes overemissioner bestemmes af motorens temperatur og katalysatorens virkningsgrad. Når holdetiden stiger, vil NO_x-overemissionen være lav pga. faldet i motortemperatur, men samtidig vil katalysatorens virkningsgrad forringes og trække overemissionen op. For katalysatorbiler bliver NO_x-overemissionen emitteret mere ligeligt under hele koldstartens 4 km længde. Ved høje udetemperaturer er overemissionen størst frem til 2 km kørsel (som for CO og VOC).

Overemissionerne er beregnet med WB og COPERT for 20.000 personbiler i året 1996 fra Transportvaneundersøgelsen (TU). I TU oplyses for hver tur bl.a. turlængden og førsteregistreringsåret. Desuden er holdetiden for hver tur beregnet. WB beregner de totale overemissioner som summen af de enkelte tures overemissioner i hele året. COPERT bruger derimod bilernes varmmissionsfaktorer og kold/varm-forhold sammen med et gennemsnit for den koldkørte strækning per tur. Begge modeller kan bruges til at beregne overemissionerne for det specifikke turdatasæt.

Sammenligningen viser, at både grunddata for koldstartsberegningerne og de to modellers forskellige beregningsmetoder får indflydelse på det endelige emissionsestimat. For CO, NO_x og partikler er overemissionerne 37, 72 hhv. 70% mindre for WB sammenlignet med COPERT. Den samlede VOC-overemission er ens i de to modeller. Endelig er CO₂-overemissionerne 130% større for WB end for COPERT. Afvigelserne i totalemissionerne dækker over betydelige udsving i deltotalerne indenfor bilårgangene taget måned for måned. Når CO undtages, er WB's overemissioner mere temperaturafhængige end overemissionerne fra COPERT.

Analysen af WB koldstartsemmissionerne viser, hvor følsom overemissionstillægget er overfor udetemperaturen, holdetiden og den kørte strækning. For koldstartsberegninger lægges der op til at kigge nærmere på COPERT's beregningsmetode, når modellen skal opdateres i EU-regi. Kan turennes fordeling findes på et mere detaljeret niveau end bare som en årlig gennemsnitlig turlængde, vil præcisionen af koldstartsberegningen blive markant bedre.

Emissionsprognoser

TREMODO beregner en detaljeret emissionsprognose for den tyske vejtrafik i perioden 1980-2020 på basis af inputdata for trafik, bestand og emissionsfaktorer, der ikke kan ændres i modellen. BILEMIS beregner en mindre detaljeret emissionsprognose for separate køretøjskategorier og en given prognoseperiode, der defineres af brugeren. Ud fra de to modellers fordele og ulemper kan kravene til en revideret dansk prognosemodel opstilles.

En dansk prognosemodel skal opbygges fleksibelt, så prognoser for vilkårlige køretøjskategorier og prognoseperioder kan beregnes. Det er vigtigt, at alle essentielle prognoseparametre for bestand, trafik og emissionsfaktorer kan ændres, når modellen bruges. Modellen bliver dermed et godt redskab til at belyse emissionsbelastningen ved forskellige alternative trafikudviklinger. Udover de regulerede emissioner CO, VOC, NO_x og partikler skal modellen også kunne beskrive udviklingen i energiforbruget (og afledte CO₂- og SO₂-emissioner).

For at kunne anvende en dansk prognosemodel er der behov for at kunne fastlægge den fremtidige bilparks størrelse og sammensætning på årgange ud fra prognoser for nysalg, gennemsnitlige levetider og overlevelseskurver. Trafikarbejdet skal kunne angives i prognosen, og der bør også være mulighed for at fordele kørslen ud på køretøjsalder. Den danske trafik kan umiddelbart fordeles på kørslen i by, på land og på motorvej. En prognoseberegning skal derfor baseres på trafikken opdelt på disse tre vejtyper.

Emissionsberegningen tager udgangspunkt i varme emissionsfaktorer, der skal kunne specificeres ved modelkørslen. Justeringen som følge af katalysatorbilers motor- og katalysatorlid skal også kunne foretages fra prognose til prognose. På denne måde kan opdateret viden om emissions- og forværrelsesfaktorer tages i brug, og effekten af ændringer kan vurderes i forskellige scenarier. Ved koldstarts-beregningen bør data for koldstartsemissioner og turfordelinger på året kunne specificeres. Tages der højde for udetemperaturen, turlængden og holdetidens indvirkning på overemissionen, vil emissionseffekten af turomlægninger kunne belyses mere præcist i prognosen.

Den aktuelle status for modelarbejdet netop nu er, at der i det grundlæggende arbejde foreligger en solid beskrivelse af vejtrafikens emissionsfaktorer, hvor lavere fremtidige emissionsnormer og slid på katalysatorbiler er indbygget. Fordelingen af trafikarbejdet ud på bilparken i årskørsler efter førsteregistreringsår, drivmiddel og motorstørrelse er stadig upræcis og vil bringe en usikkerhed ind i varmemissionsberegningen. Til brug ved beregningen af en prognose for koldstartsemissionen vil en prognosemodel baseret på TU-data give en detaljeret beskrivelse af turudviklingen som funktion af turlængde, holdetid og tidspunkt (udetemperatur).

Ændringer i TU-data forventes at medføre, at også oplysninger om førsteregistreringsår og motorstørrelse/drivmiddel vil kunne indgå i prognosen for både koldstart og varmstart.

Summary

Objective

In this report the present emissions of the road traffic and the emission prognoses of warm start and cold start based on models for Denmark and Danish emission calculations are analysed.

The first intermediate aim is to analyse in detail the emission factors from four sources as input to the total calculations. In the analysis the background data from the emission model "German Workbook of Emission Factors", version 1.1 (Keller et al., 1995), abbreviated WB and the European model COPERT II (Computer Programme to calculate Emission from Road Transport, Ahlvik et al., 1997) are compared. The Danish DTU-model (Sorenson, 1992) as well as Danish emission calculations by Hansen and Winther (1993) will also be included in the comparison. The vehicles are new conventional (ECE 15/04) and EURO I private cars - petrol and diesel. Special weight will be attached to the WB results.

Another objective is to analyse in detail the WB extra cold start emission from the petrol private cars which are the most common in Danish traffic. The difference between the calculated overemissions of WB and COPERT are to be determined for a calculation situation and based on the emission result the preciseness of the cold start calculation methods will be discussed.

The third intermediate aim is to lay down the demands for a Danish prognosis model of the emissions of road traffic. This will be made on the basis of a superior exposition of the principles behind the Danish prognosis model BILEMIS (Sorenson and Schramm, 1990), the German prognosis model TREMOD (Traffic Emission Estimation Model, FEA, 1995) and the knowledge of traffic and vehicle fleet data on national level.

Method

At first a theoretic discussion of the emission models and their application at different levels of detail of total emission calculations is presented. A short examination of the connection between emission measurements and emission factors is made before the calculation of total emissions and emission prognoses of the road traffic. The level of detail and demand for preciseness are described more specifically for different forms of emission calculations stretching from a simple survey of a larger area to emission calculations for a single vehicle in a street.

The next step is to describe the WB, COPERT II and DTU models and the calculation programmes behind these as well as the Danish emission measurements. The description includes the structure of the calculation programmes and the simulation principle of the models for the modelled emission types and emission components together with the classification of vehicle categories and their subdivision (strata).

Then it is described in detail to which strata, driving pattern etc. the models indicate emission factors. The hot emission factors of petrol and diesel cars of the models are compared by graphs. Differences in emission results are showed by a calculation example of the most common petrol private cars. The sensitivity of using traffic situations in stead of trip speed as determining factor will also be examined.

After the analysis of the hot emissions the emissions of cold start will be processed. The cold start emissions of WB are described as a function of distance covered, standing time hours before trip start and the ambient temperature for the same petrol cars as in the analyses of the warm start emissions. Based on the National Travel Survey (Transportvaneundersøgelsen, 1998 (TU)) the extra emissions at cold start for a segment of private car trips will be calculated with WB and COPERT. The results of the two models will be compared and the preciseness of the cold start calculations discussed.

The last part of the report regards emission prognoses. It is described how the TREMOD and BILEMIS models are handling essential prognosis parameters as new-sale, mean life and survival graphs as well as transport and its distribution on strata and driving pattern. Furthermore, how the emission factors are adjusted to the prognosis calculation per strata, driving pattern and year of prognosis and how the final calculation of hot and cold emissions and vaporisation proceeds. On the basis of the advantages and disadvantages it is discussed which demands should be made on a Danish emission prognosis. In the same chapter it is also shown how emission factors of both hot and cold start are projected for prognosis calculations in specific traffic research projects.

Emission models and their application

Emission calculations can be carried out at various levels with different types of models.

Total emission calculations and emission prognoses of a geographic area have the smallest degree of detail. In this situation it is more the trend of the emissions than their absolute level which is requested. The overall calculation level means that the mean speed emission factors are quite sufficient. The same emission factors can also be used on street level. If the current driving patterns are unknown it must be assumed that the traffic will be performed on average and the emission calculations must be estimated on the basis of the current trip speed of the street.

Street emission calculations based on the driving pattern in the street must be made cautiously as the real driving pattern in the street is difficult to map precisely enough. Due to differences between selected driving patterns and the factual driving patterns of the street the calculated emissions could turn out to be different from the emissions of the real driving pattern. Therefore, it is necessary with many driving patterns at various times in the street if the emissions are going to be calculated with adequate exactness. It is also essential that the model contains large quantities of emission data. The emissions of the model of selected driving patterns must be equivalent to

the current emissions of the representative vehicles of the street with the matching driving patterns.

To calculate emissions for a single vehicle and a specific driving situation certain information about emission as a function of speed and acceleration of the vehicle are required. Emission results based on continuous emissions will often deviate substantially from the result when the mean emission factors are applied. In this situation it is not enough to use emission factor which solely depend on the trip speed.

Measurements and emission factor models

Behind the WB, the COPERT II and the DTU model are measurement programmes which are the basis for the established emission factors. The WB is based on the emission measurements and driving pattern analyses performed within 8 vehicle categories: private cars, vans, lorries (solo-lorries, lorries with trailer and articulated lorries), tourist coaches, buses and two-wheeled vehicles. The vehicle categories are subdivided into concepts that also describe the fuel used and the technological level of the vehicle. The concepts are further divided into strata with the same emission and energy conditions where emission standard, motor size and total weight are considered.

In the measurement programme the hot emission measurements are carried out on a chassis dynamometer with standard test cycles for 286 private cars and 31 vans. Emission functions proportional to the energy consumption are formed per strata. The functions consist of emissions and energy consumption at instantaneous speeds and accelerations. With the functions the emission factors are simulated for a wide range of driving patterns of the real traffic. The traffic analysis has determined representative traffic situations as percentages of the measured driving patterns. The emission factors per traffic situation are calculated on the basis of the percentages of the incoming emission factors of the driving patterns.

Emission and energy consumption of 34 heavy duty vehicles have been measured in a test bench at various torque and engine speed which are transformed into instantaneous speeds and accelerations on the road with modelled energy consumption. The driving profile of about 300 different heavy vehicles is simulated this way. Emission functions proportional with the measured energy consumption (and adjusted with the modelled consumption) are formed and the emission factors are calculated for all strata, driving patterns and traffic situations.

Smaller measurement programmes procure data of emissions and energy consumption for cold start, gradient of the road and stop and go driving. From this the basic measurements of hot start are adjusted with a special method to include all strata and traffic situations. The basic measurements are also written down to future emission standards and corrected as a function of engine wear and the load lines of heavy vehicles.

The COPERT II model contains bag measurements of 2,118 private cars and 53 vans collected from 46 representative test cycles on 8 different laboratories in Europe. The emission factors are produced from the total collected emission and the length of the driving pattern. For heavy vehicles the measurements from WB are used. The effect of cold start, gradient of the road and load lines of heavy vehicles are also included in COPERT.

The DTU model have continuous emission measurements of and energy consumption from 10 catalyst cars, 59 new conventional petrol cars and a few diesel cars. Emissions and energy consumption at instantaneous speeds and accelerations are coupled to driving patterns obtained from the Danish traffic. Emission factors of the driving patterns are calculated as the sum of the single emission elements. For heavy vehicles the emission factors of lorries and buses are simulated on the basis of test bench measurements which are transformed to real driving patterns.

The Danish emission measurements of private cars are performed on a chassis dynamometer - 11 catalyst cars and 10 conventional petrol cars in all. In the measurement programme is used the same driving patterns as in the DTU model for private cars. The driving patterns involve up to 110 km/h and they are selected with a suitable variation of idle, constant speed, acceleration and deceleration.

Emission factors

CO, VOC, NO_x and particulate emission factors (diesel only) are compared in approximate graphs of new conventional and EURO I petrol and diesel cars as a function of trip speed. There are differences between the position of the graphs in the four measurement programmes but the differences can be explained satisfactory from the knowledge about each single test. The NO_x emission factors are determined relatively imprecisely in the four measurement programmes compared to the factors of CO and VOC.

Basically, the emission factors of very low (stop and go driving typically) and high trip speed have the highest uncertainty as the emission measurements are few. In these traffic situations it is important to examine which driving patterns, test cars and simulation principles are behind the emission factors of the models so that the calculation conditions are as precise as possible. Regarding atypical driving patterns and cars the trip speed dependent emission factors can not be used for the calculation. In stead the emission must be measured for the driving pattern or simulated with a model. In this connection it must be considered carefully if the measured or simulated emissions will be representative for the emission in the street.

In a calculation example of petrol cars the emission results shows the use of different sources. In particular there are differences when the results are compared individually with urban, rural and highway driving. Yet the differences are somewhat equalised when the emissions of all three driving patterns are summed up. In general, the calculation example shows that the WB and COPERT emissions are at the same level in relation with typical cars and mean speed. As the

models include a sufficient amount of emission data the trip speed becomes a very useful parameter. This applies for moderate speeds where the total emission has to be calculated without knowledge of the precise driving patterns.

The calculation example supports the analyses of the emission graphs. There is good similarity between COPERT and WB emission factors at trip speeds between 30 and 100 km/h. This applies especially for CO and VOC while the uncertainty is higher for the NO_x. For the trip speeds under 25 km/h and over 100 km/h there is still a great uncertainty about the level of the emission factors.

The sensitivity of using traffic situations in WB in stead of mean speeds has been examined by plotting the CO-, VOC and NO_x emission factors of catalyst cars on the same figures as the approximated graphs. In a total emission calculation the total amount of driven kilometres is spread out on the different traffic situations of WB. Thereby the total result and a "weighted emission factor" is approaching the mean graph.

Therefore, the efforts made to collect information about the traffic distribution in traffic situations become important compared with the preciseness of the total calculation. The traffic situations can not be determined precisely enough and after all, the total calculation result will turn towards an average. So, in stead of traffic situations it is better to use trip speed as a parameter and accept the difference between the mean emission factor and the many different emission factors which covers the real traffic.

Emissions can be calculated with WB in some situations when these correspond to the Danish traffic situations. In the calculation the emission factors must be weighted based on the strata composition of the Danish traffic. The WB strata composition can not be used as it applies solely for the German traffic.

Cold start emissions

Based on a city driving pattern with a trip speed of 37,2 km/h the overemissions of cold start of the ECE 15/04 cars and catalyst cars are calculated in WB. The calculation is made for CO, VOC and NO_x at the ambient temperatures of -10, -5, 0, 5, 10, 15 and 20^BC. For each ambient temperature the overemission is calculated after the vehicle has driven 1, 2, 3 and 4 km and until the car is hot after having driven more than 4 km. The calculations are repeated for each of the standing times 0-1 hour, 1-2 hours etc. until a standing time of more than 8 hours.

In general, the standing time is of great importance for the CO and VOC overemission - the longer standing time, the bigger emissions. For the VOC the increase in standing time from 1 to 4 hours has significant importance. For the CO there is a substantial increase of the overemission of the standing times all up to 7 hours. The cold start addition for the short standing time is moderate. At all ambient temperatures the most of the CO and VOC overemission is created within the first 2 km of the cold start.

The picture of the NO_x overemissions is more complex. For the ECE 15/04 cars the increase of the NO_x overemission is almost the same at each step in the standing times.

The NO_x overemission of the ECE 15/04 cars with cold engine becomes more and more negative until 3 kilometres of driving. The ECE 15/04 cars have also less NO_x emissions in cold state than in hot. According to WB the overemission declines contrary to expectations after 3 or more kilometres of driving. This pattern is repeated for all standing times. If the numeric decline is accepted it means that the NO_x emission of the cars is higher in the last part of the cold start than in the hot state. This must be due to a defect in the cold start module of the WB as the already created overemission can not be eliminated when the engine gradually gets more hot.

The overemissions of the catalyst cars is determined by the temperature of the engine and the efficiency of the catalyst. When the standing time increases the NO_x emission will be low due to the decrease of engine temperature, but at the same time the efficiency of the catalyst will be reduced and thereby pull up the overemission. As to catalyst cars the NO_x overemission will be emitted more equally during the whole 4 kilometres of the cold start. At high ambient temperatures the overemission is maximal until 2 kilometres driving (as for CO and VOC).

The overemissions are calculated with WB and COPERT for 20,000 private car trips in 1996 in the National Travel Survey (TU). In the TU there is information about e.g. trip length and first registration year of each trip. Furthermore, the standing time of each trip is calculated. The WB model calculates the total overemissions as the sum of the overemission of the single trips the whole year. However, the COPERT model uses the hot emission factors and cold/hot relations together with an average of the cold driven distance per trip. Both models could be used to calculate the overemissions of the specific trip data set.

The comparison shows that both basic data to the cold start calculations and the two model's different calculation methods have influence on the final emission estimate. For the CO, NO_x and particulates the overemissions are 37, 72, respectively 70% less than WB compared to COPERT. The total VOC overemission is the same in the two models. Finally, the CO₂ overemissions are 130% higher in WB than in COPERT. The deviations of the total emissions cover significant fluctuations in the part totals within the car years taken monthly. If the CO is omitted the overemissions of the WB are more temperature dependent than the overemissions of COPERT.

The analysis of the WB cold start emissions shows how sensitive the overemission addition is in relation with the ambient temperature, standing time and the driven distance. Regarding the cold start calculations it seems that the calculation method of COPERT must be reviewed when the model is to be updated within the EU framework. If the classification of the trips could be on a more detailed level than just as a yearly mean trip length the preciseness of the cold start calculation will be markedly improved.

Emission prognoses

TREMOD calculates a detailed emission prognosis for the German road traffic in the period 1980-2020 on the basis of input data of traffic, vehicle fleet and emission factors which can not be changed in the model. BILEMIS calculates a less detailed emission prognosis of separate vehicle categories and a given prognosis period which is defined by the user. On the basis of the advantages and disadvantages of the two models the demands to a revised Danish prognosis model can be listed.

A Danish prognosis model must have a flexible structure so the prognoses of arbitrary vehicle categories and prognosis periods can be calculated. It is important that all the essential prognosis parameters of vehicle fleet, traffic and emission factors can be changed when the model is applied. Thereby, the model becomes an applicable tool for examination of the emission impact at different alternative traffic developments. Beyond the regulating emissions CO, VOC and NO_x and particulate matter the model also must be able to describe the development of energy consumption (and CO₂ and SO₂ emissions).

To use a Danish prognosis model it is necessary to be able to establish the future size and composition in years of the vehicle fleet based on new sale, mean life time and survival graphs. The total mileage has to be indicated in the prognosis and there should be possibility of dividing the mileage out on the vehicle age. The Danish traffic can be divided directly on urban, rural and highway driving. Therefore, a prognosis calculation should be based on the traffic divided into these three road types.

The emission calculation is based on hot emission factors which are to be specified at the model run. The adjustment as a consequence of the wear of the catalyst cars engine and catalyst must also could be made from prognosis to prognosis. In this way updated knowledge about emission and deterioration factors can be applied and the effect of changes can be evaluated in various scenarios. At cold start calculations it should be possible to specify data of cold start emissions and trip classification in the year. If the ambient temperature, trip length and the influence of the standing time on the overemission are taken into account the emission effect of trip changes will be more precise in the prognosis.

The present status of the model work is that fundamentally a solid description of the road traffic emission factors where low future emission standards and wear on catalyst cars is built-in is available. The classification of total mileage on the vehicle fleet of yearly driving based on first year of registration, fuel type and engine size is still imprecise and will cause an uncertainty in the hot emission calculation. For the calculation of a cold start emission prognosis a prognosis model based on TU data will produce a detailed description of the trip development as a function of trip length, standing time and ambient temperature.

Changes in TU data are expected to mean that also information about first year of registration and engine size/fuel could enter into the prognosis of both cold start and warm start.

1 Formål og opbygning

I efteråret 1996 gennemførtes projektet "Emissionsopgørelse for vejtrafik" finansieret af Miljøstyrelsen. Projektet, se Winther (1997), omfattede bl.a. en evaluering af den tysk/schweiziske emissionsdatabase "Workbook of Emission Factors", version 1.1 (forkortet WB) med henblik på danske emissionsberegninger.

I et nyt projekt skulle en emissionsprognose beregnes for vejtrafikken med den tyske prognosemodel TREMOD (Traffic Emission Estimation Model, FEA (1995)). Prognosemodellen understøttes af databasen WB. TREMOD-resultaterne skulle sammenlignes med en ny emissionsprognose, se Winther og Ekman (1998), beregnet med den danske prognosemodel BILEMIS (Schramm og Sorenson, 1990).

Efter projektets igangsættelse har det - mod den oprindelige intention - vist sig, at TREMOD ikke bliver tilgængelig i en version, hvor prognose-input kan specificeres af en bruger. Det har derfor været nødvendigt at dreje det faglige indhold anderledes i det videreførte projekt. Arbejdet med prognosesammenligninger nedtones i forhold til først planlagt, og arbejdet udvides i stedet indenfor analysen af de to væsentligste emissionstyper; varmstart og koldstart, under projektet "Analyse af vejtrafikkens emissioner".

Første delformål med projektet "Analyse af vejtrafikkens emissioner" er at analysere de varme emissionsfaktorer fra fire kilder nærmere som input til totalberegninger. Vægten lægges specielt på WB's resultater. I analysen inddrages nyere konventionelle og EURO I benzin- og dieselpersonbiler. Foruden WB databasens emissionsfaktorer inddrages yderligere to emissionsmodeller samt danske emissionsmålinger udført af Hansen og Winther (1993). Emissionsmodellerne er COPERT II (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport), dokumenteret i Ahlvik m.fl. (1997) og DTU-modellen (Sorenson, 1992). Begge modeller bruges i Danmark.

Et andet formål er at analysere WB's koldstartstillæg i detaljer for de typer af benzinpersonbiler, der også blev analyseret under varmstart. Forskellene mellem de beregnede overemissioner fra WB og COPERT II skal bestemmes for en beregningssituation. Ud fra emissionsresultatet skal præcisionen af koldstartsberegningsmetoderne diskuteres.

Rapportens tredje delformål er at fastlægge kravene til en dansk prognosemodel for vejtrafikkens emissioner. Dette gøres ud fra en overordnet gennemgang af BILEMIS og TREMOD's modelprincipper, kendskabet til trafik- og bestandsdata på et nationalt niveau og erfaringerne på DMU med fremskrivning af emissionsfaktorer, der bruges i andre sammenhænge.

Denne rapport sammenfatter arbejdet udført i projektet "Analyse af vejtrafikkens emissioner" medfinansieret af Miljøstyrelsen og gennemført i efteråret 1997 og foråret 1998. I projektet har været nedsat en følgegruppe bestående af Pia Berring, Erik Rasmussen og Erik Iversen fra Miljøstyrelsen, Lone Reiff og Bo Ekman fra Vejdirektora-

tet, Spencer Sorenson, DTU, Kennet Larsen, Energistyrelsen, Niels Kilde, Risø, Helga Thomsen, Trafikministeriet, Leif Hald Petersen, Færdselsstyrelsen og Linda Christensen, Steen Solvang Jensen, Ruwim Berkowitz og Morten Winther fra DMU.

Følgegruppens medlemmer takkes for deres bistand og faglige diskussioner undervejs i projektet og ved rapportens tilblivelse.

Rapporten er opdelt i otte kapitler. I kapitel 2 gives en teoretisk gennemgang af emissionsmodeller og deres anvendelse ved forskellige detaljeringsgrader. Emissionsmålingerne bag WB beskrives i kapitel 3. På samme sted redegøres kortfattet for målingerne bag COPERT II, DTU-modellen og de danske emissionsmålinger. Detaljeringsgraden i emissionsfaktorerne fra de fire kilder gennemgås i kapitel 4 med vægten lagt specielt på WB. Emissionsfaktorer sammenlignes og bruges i en beregningssituation for personbiler. Effekten af at bruge trafiksituationer som emissionsparameter i stedet for rejsehastigheder gennemgås også. I kapitel 5 analyseres WB's koldstartsemissioner i detaljer og WB og COPERT II's beregningsmetoder kritiseres ud fra et beregningseksempel. På grundlag af TREMOD og BILEMIS modellernes fordele og ulemper diskuteres i kapitel 6 hvilke krav, der bør stilles til en dansk emissionsprognose. I samme kapitel vises også (for både varmstart og koldstart), hvordan emissionsfaktorer er fremskrevet til prognoseberegninger i konkrete trafikforskningsprojekter og hvad status er for udviklingen af en ny dansk prognosemodel.

2 Emissionsmodeller og deres anvendelse

I dette kapitel gennemgås kort forbindelsen mellem emissionsmålinger og emissionsfaktorer frem til beregningen af totalemissioner og emissionsprognoser for vejtrafikken. Dette leder frem til en overordnet diskussion af, hvad der kræves af emissionsmodeller, når emissioner skal beregnes med forskellige detaljeringsgrader. Disse kan strække sig fra simple totalopgørelser for et større område til emissionsberegninger for et enkelt køretøj i en bygade. Diskussionen omfatter også præcisionen af emissionsberegninger udført med modeller for forskellige detaljeringsgrader.

2.1 Elementer til en emissionsberegning

Udgangspunktet for en kortlægning af vejtrafikens luftforurening er målinger af relevante emissionskomponenter. Målingerne udføres for alle trafikens køretøjstyper. Den mest anvendte metode er at måle emissionerne i laboratorier. Personbiler og varebiler placeres på et rullefelt og emissionstestes ved forskellige køremønstre. Emissionerne måles både kontinuert og opsamles i pose. Emissionerne fra tunge køretøjs motorer måles ved at sætte motoren i prøvebænk og bestemme emissionerne ved forskellige driftstilstande.

Måleprogrammerne tilrettelægges, så emissionerne kan belyses på de forskellige områder, der karakteriserer vejtrafikens luftforurening. Overordnet bestemmer måleprogrammerne emissionerne fra varmstart, de ekstra emissioner under koldstart og som følge af fordampning. Nogle måleprogrammets formål er endvidere at belyse emissionseffekten af forskellige køremønstre, der især varierer ved bykørsel og kørsel ved lave hastigheder i øvrigt. I visse tilfælde undersøges også emissionseffekten af hældning, kørsel i stor højde og forskellige lastegrader for tunge køretøjer.

Ud fra målingerne dannes emissionsfaktorer. En måde at beregne disse er at finde forholdet mellem den samlede emissionsmængde i forsøgsposen og den kørte strækning. Emissionsfaktorer kan også simuleres ud fra de kontinuert opsamlede emissioner. Fordelen ved denne beregningsmetode er, at emissionsfaktorer kan beregnes for en lang række situationer, der ikke umiddelbart kan udtrages fra det enkelte forsøg.

Når emissionsfaktorer er fremskaffet kan totalemissioner beregnes indenfor et geografisk område og en valgt periode. Dertil skal bruges oplysninger om trafikken. Oplysningerne skal foreligge på et niveau, der svarer til emissionsfaktorenes detaljeringsgrad. Alt efter hvad den konkrete emissionsopgørelse skal bruges til, er det relevant at karakterisere trafikken efter køretøjstyper, køremønstre (gennemsnitlig trafikafvikling eller specifikke køremønstre) og kørselsforhold i øvrigt (koldstart, hældning osv.).

2.2 Om emissionsmodeller

Emissionsprognoser for vejtrafikken bruges både til bestemmelse af miljøbelastningen ved trafikscenarier og som en del af den langsigtede miljøovervågning. Prognoserne dannes ud fra emissionsfaktorer og trafikarbejde, der har et indbyrdes afstemt detaljeringsniveau, som også passer med prognosens formål. Grupperes prognosen passende på køretøjskategorier og enkeltkilder opnås en solid basisviden om emissionerne til brug for miljøindgreb.

Emissionsfaktorerne måles og/eller simuleres på et nutidigt niveau og fremskrives til fremtidige beregningsår i prognosen. Fremskrivningen tager både højde for nye bilers lavere emissionsnormer i fremtiden og forøgede emissioner fra bilparken pga. motorslid. Trafikarbejdet fremskrives ud fra forventninger om køretøjsbestandens udvikling (nysalg og skrotning) og årskørslen. Prognosen beregnes i hvert prognoseår ved at kombinere de sammenhørende emissionsfaktorer og trafikarbejder for de enkelte køretøjskategorier.

Der er udviklet mange computermodeller med henblik på at simulere trafikens emissioner, se f.eks. Management Committee COST 319 (a og b), Wegerer (1990) og Sturm m.fl. (1994) samt Hausberger m.fl. (1994). Modellerne er skabt til emissionsberegninger på forskelligt niveau og med forskellig detaljeringsgrad. Flere modeller er nu så detaljerede, at de kan belyse emissionseffekterne af koldstart, fordampning, hældningen af vejnettet og højde.

Før en given trafikemissionsmodel tages i anvendelse er det i hvert enkelt tilfælde nødvendigt at vide, hvilke behov den konkrete emissionsberegning skal opfylde. I dette afsnit diskuteres hvilken detaljeringsgrad af beregningsværktøjer, der bør benyttes til forskellige anvendelsesformål som: trafikscenarier, VVM-analyser (Vurdering af Virkninger på Miljøet), totalemissionsberegninger og prognoser for forskellige trafiktiltag samt modellering af luftkvalitet. Fordele og ulemper ved brugen af mere detaljerede modeller berøres også. Visse elementer af diskussionen er inspireret af arbejdet med modelsammenligninger udført af Zachariadis (1996).

2.3 Krav til emissionsberegninger

Til totalemissionsberegninger og emissionsprognoser er det snarere trenden i emissionerne end deres absolutte niveau, der efterspørges. I denne situation er det ikke nødvendigt med en stor detaljeringsgrad i emissionsfaktorerne. Emissionsfaktorer for trafikens gennemsnitshastigheder er derfor fuldt ud tilstrækkelige.

Valget af emissionsfaktorer for givne køretilstande, f.eks. bykørsel, skal gøres ved bytrafikens gennemsnitlige hastigheder for trafikens køretøjstyper. Selv om emissionsfaktorer ikke er lineære i hele hastighedsspektret, er de dog tilnærmelsesvist lineære på forskellige vejtyper. Som en konsekvens af dette bliver fejlen ved kun at anvende én emissionsfaktor i bytrafikken ikke betydelig. En detalje ved emissionsfaktorerne for bykørsel er, at disse ikke er lineært afhængige af gennemsnitshastigheden for hastigheder under 20 km/h. Dette

har dog mindre betydning, da gennemsnitshastigheden for bykørsel generelt set ligger noget højere end 20 km/h.

Ofte kræver luftkvalitetsmodeller til beregning af luftforurening i bybaggrunden en opløsning i et net på 500X500 eller 1000X1000 meter for at være tilstrækkeligt detaljerede. I denne situation bliver emissionerne midlet ud over hvert enkelt felt i nettet. Det er derfor ikke nødvendigt med en større detaljering end emissionsfaktorer for gennemsnitshastigheden i det enkelte felt. Til beregning af koldstartemissioner er det nødvendigt med oplysninger om antallet af koldkørte kilometer på forskellige tidspunkter i de enkelte felter. Fordampningsbidraget kan beregnes, når der er kendskab til, hvor længe køretøjerne holder stille. Det er også vigtigt at vide, hvor meget af kørslen der foregår op og ned ad bakke samt i hvilke højder, hvis beliggenheden kræver dette.

Det er tit vanskeligt at beregne gadeemissioner på basis af køremønstret i gaden, forstået som de øjeblikkelige emissioner ved givne hastigheder og accelerationer for køretøjstyper. Risikoen for fejl opstår, idet de reelle køremønstre i gaden er vanskelige at kortlægge præcist nok. Emissionerne for det valgte køremønster i gaden, beregnet ud fra øjeblikkelige emissioner, kan derfor vise sig at være anderledes end emissionerne fra køremønstret i den faktiske situation. Gennem mange summationer kan små systematiske fejl bidrage til en stor fejl på den endelige totalemission.

Bruges et generelt køremønster vil det ikke være repræsentativt for den undersøgte gade på det aktuelle måletidspunkt. Måles et køremønster i gaden vil det kun være repræsentativt i begrænsede tidsrum og vil ikke kunne sammenlignes med andre gaders køremønstre. Det er derfor nødvendigt med mange køremønstre på forskellige tidspunkter i gaden for at kunne beregne emissionerne med tilstrækkelig nøjagtighed.

En anden fejl kan opstå, idet udvalgte forsøgsbilers kontinuerte emissionsmålinger skal repræsentere kontinuerte emissioner for gadens biler i beregningssituationen. Beregninger med et positivt resultat vil kræve store mængder baggrundsdata, der skal svare til de øjeblikkelige emissioner for gadens repræsentative køretøjer som funktion af deres køremønstre.

En beregning af luftkvaliteten med modeller for gadeluftkvalitet er forbundet med store usikkerheder. I denne situation er det meget vigtigt at inddrage tilstrækkelige datamængder både om gadens hældning (samt højde) og på forskellige tidspunkter af døgnet: antallet af forskellige køretøjstyper, gennemsnitshastighederne, samt andelen af kørsel med kold motor. Oplysninger om gadens topografi, husenes højde, gadens bredde og retning skal også foreligge sammen med meteorologiske data om vindretning og -styrke. Er det yderligere vigtigt at kende luftkvaliteten på et bestemt tidspunkt og sted i gaden bestemmes denne mest præcist ved en direkte måling.

Til beregning af emissioner for et enkelt køretøj kræves konkrete oplysninger om emissionerne som funktion af hastighed og acceleration for det pågældende køretøj, idet køretøjerne taget for sig kan afvige

meget fra et gennemsnitligt køretøj mht. motorslid og -justering. En emissionsberegning vil ofte give et resultat, der afviger væsentligt fra resultatet, når gennemsnitlige emissionsfaktorer anvendes. Ved emissionsberegninger for et specifikt køretøj i en given køresituation er det altså ikke tilstrækkeligt med emissionsfaktorer, der udelukkende afhænger af rejsehastigheden.

Generelt er det meget vanskeligt at anslå usikkerheden på emissionsberegninger. Usikkerheden er i almindelighed stor uanset emissionsberegningens detaljeringsgrad, jf. kapitel 4.4. I beregningerne indgår en mængde forskellige parametre, hvis usikkerheder er svære at bestemme enkeltvist, og disse kan derfor ikke udtrykkes rimeligt som en samlet usikkerhed. Brugen af mere detaljerede modeller vil både kunne formindske og forøge usikkerheden på emissionsberegningen.

Udvides detaljeringsgraden til nye områder skal tilstrækkelige emissionsdata være tilgængelige, hvis beregningsusikkerheden skal formindskes. Detaljeringsgraden kan også forbedres med et godt resultat, når et større og mere repræsentativt antal målinger inddrages på allerede beskrevne områder. Mange målinger af eksempelvis bilers varmstartemissioner bidrager til en mere præcis beskrivelse af disse emissioner. Også for denne situation gælder, at mange data er nødvendige, da der selv ved samme køremønster er forskel fra måling til måling både på den enkelte bil og fra bil til bil.

3 Målinger og modeller for emissionsfaktorer

Emissionsmålinger bliver udført på køretøjer i mange testlaboratorier forskellige steder i Europa. Emissionerne opsamles i pose for hele køremønstret og ofte bliver de øjeblikkelige emissioner målt, når testcyklen gennemkøres. De opsamlede emissioner afhænger af det benyttede køremønster, og derfor gælder det om at bruge kørecykler, der i vidt omfang beskriver køremåderne i den virkelige trafik.

I dette kapitel bliver det tysk/schweiziske emissionsmåleprogram beskrevet i detaljer mht. opdeling i køretøjstyper og beregning af repræsentative emissionsfaktorer ud fra basismålinger. Den sidste del af kapitlet vil omhandle en kortere gennemgang af måleprogrammerne bag COPERT II, DTU-modellen og de danske emissionsmålinger.

3.1 Det tysk/schweiziske emissionsmåleprogram

Indledningsvis forklares, hvordan opdelingen af trafikens køretøjer er gjort i det tysk/schweiziske emissionsmåleprogram. Dette fører frem til en beskrivelse af måleprogrammet for varme basisemissioner. Herunder forklares, hvordan laboratoriemålingerne omformes til at gælde for trafikens virkelige køreforhold. Som et tillæg til beskrivelsen af basismåleprogrammet forklares også, hvordan basismålingerne justeres til at gælde ved kørsel, kørsel op og ned ad bakke og koldstart. Det vil også blive beskrevet, hvordan måleprogrammet håndterer emissionsfaktorer for fremtidige år og emissionsændringen som følge af motorslid.

3.1.1 Inddeling i køretøjskategorier

Arbejdet med opbygningen af databasen WB har omfattet emissionsmålinger og køremønsteranalyse for de 8 køretøjskategorier: Personbiler, varebiler, lastbiler (sololastbiler, lastbiler med anhænger og lastbiler med sættevogn) turistbusser, rutebusser og tohjulede køretøjer.

Køretøjskategorierne er i modellen underinddelt i koncepter, der også beskriver det benyttede drivmiddel og køretøjets teknologiske stade. Koncepterne er endvidere inddelt i strata, hvor motorstørrelser og totalvægtklasser tages i betragtning. Strataniveauet angiver den fineste fordeling af køretøjer, idet disse antages at have samme emissions- og energiforhold. I tabel 3.1 gives en oversigt over WB's køretøjskoncepter. Modellens strata er opstillet i tabel 3.2 for personbiler og varebiler samt for tunge køretøjer, busser og motorcykler i tabel 3.3.

Tabel 3.1 Køretøjskoncepter i WB

Personbil/varebil benzin	Personbil/varebil diesel	Tunge køretøjer/busser	Motorcykler
Konventionel	Konventionel	Fremstillet i 1960'erne	< 50 cc. Uden kat. (knallert)
Katalysator (før 1991)	XXIII/FEEA1	Fremstillet i 1970'erne	< 50 cc. Med kat. (knallert)
		Fremstillet i 1980'erne	2-takt konventionel 4-takt konventionel
Katalysator (før EURO II)	EURO I	EURO I	2-takt EURO I 4-takt EURO I
Katalysator (EURO II)	EURO II	EURO II	2-takt EURO II 4-takt EURO II
Katalysator (EURO III)	EURO III	EURO III	2-takt EURO III 4-takt EURO III

Tabel 3.2 Strata for benzin- og dieselpersonbiler samt varebiler i WB

Benzinpersonbiler	Dieselpersonbiler	Varebiler
PRE ECE	Før 1986 < 2,0 liter	Benzin, konv. Før 1981
ECE 15/00	Før 1986 > 2,0 liter	Benzin, konv. Efter 1981
ECE 15/01-02	1986-88 < 2,0 liter	Benzin, 2-takt Østtyskland
ECE 15/03	1986-88 > 2,0 liter	Benzin, katalysator
ECE 15/04 < 1,4 liter		Benzin, EURO II, 1997
ECE 15/04, 1,4-2,0 liter		Diesel, konv. før 1986
ECE 15/04 > 2,0 liter		Diesel, efter 1986 eller XXIII
EEA82		Diesel, EURO I, 1995
2-takt Østtyskland		Diesel, EURO II, 1998
4-takt Østtyskland		
Konv., andre koncepter < 1,4 og 1,4-2,0 liter		
Katalysator, open loop < 1,4 og 1,4-2,0 liter		
Katalysator (før 1987)		
Katalysator (1987-90) <1,4, 1,4-2,0 og >2,0 liter		
Katalysator (1991) <1,4, 1,4-2,0 og >2,0 liter	XXIII <2,0 og > 2,0 liter	
Katalysator (EURO II, 1997) <1,4, 1,4-2,0 og >2,0 liter	(EURO II, 1997) <1,4, 1,4-2,0 og >2,0 liter	
Katalysator (EURO III, 2001) <1,4, 1,4-2,0 og >2,0 liter	(EURO III, 2001) <1,4, 1,4-2,0 og >2,0 liter	

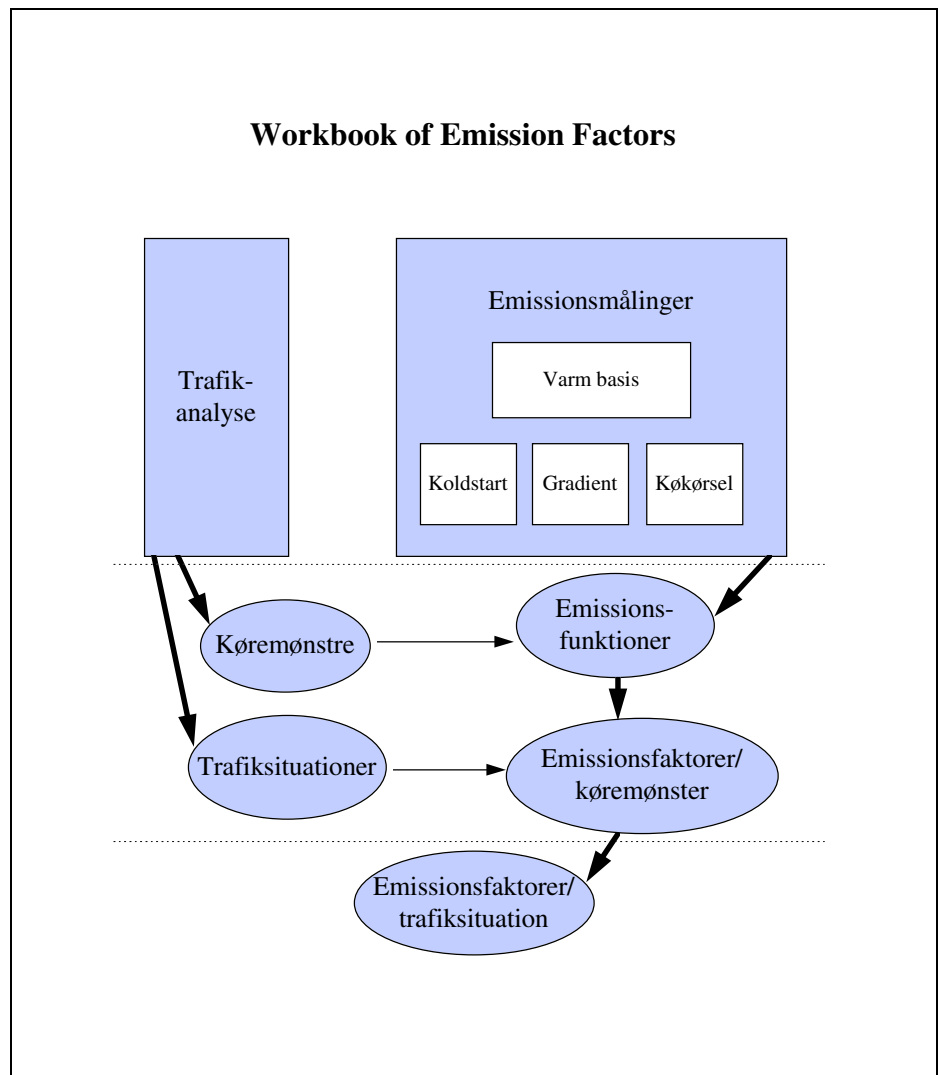
Tabel 3.3 Strata for tunge køretøjer, busser og motorcykler i WB

Tunge køretøjer og busser	Motorcykler
Sololastbil, < 7,5 tons	Knallert, uden katalysator
Sololastbil, 7,5-14 tons	Knallert, med katalysator
Sololastbil, 14-20 tons	Motorcykel, 2-takt før EURO II
Sololastbil, 20-28 tons	Motorcykel, 2-takt EURO II
Lastbil med anhænger, < 20 tons	Motorcykel, 2-takt >EURO II
Lastbil med anhænger, 20-28 tons	Motorcykel, 2-takt >EURO III
Lastbil med anhænger, 28-32 tons	Motorcykel, 4-takt < 251 cc før EURO II
Lastbil med anhænger, 32-40 tons	Motorcykel, 4-takt 251-750 cc før EURO II
Sættevognstog, < 32 tons	Motorcykel, 4-takt > 750 cc før EURO II
Sættevognstog, > 32 tons	Motorcykel, 4-takt EURO II
Turistbus, < 16 tons	Motorcykel, 4-takt EURO III
Turistbus, > 16 tons	
Linjebus, < 20 tons	
Linjebus, > 20 tons	

Benzin- og dieselpersonbiler er repræsenteret ved henholdsvis 26 og 12 forskellige strata, mens varebilerne er inddelt i 9 strata, jf. tabel 3.2. I tabel 3.3 er angivet strata for de tunge køretøjer og busser, der er underopdelt i sololastbiler, lastbiler med anhænger, sættevognstog og busser med forskellige totalvægt. Det fremgår ikke af tabellen, at modellen yderligere indeholder strata for køretøjer bygget i 1960'erne, 1970'erne, 1980'erne og køretøjer, der opfylder EURO I, II eller III normen. De tohjulede køretøjer opdeles i knallerter og motorcykler repræsenteret ved hhv. 2 og 9 forskellige strata.

Dokumentationen af måleprogrammet og metoden til beregning af emissionsfaktorer er angivet i Management Committee (1995a og b).

På figur 3.1 er en principskitse for databasens opbygning vist.



Figur 3.1 Organisationsdiagram for databasen Workbook of Emission Factors

I emissionsmåleprogrammet er varme CO-, VOC-, NO_x- og partikelemissioner samt energiforbruget målt på rullefelt for person- og varebiler, mens tunge køretøjers emissioner er testet i en prøvebænk. Som basis er målt kontinuerte varmstartemissioner fra 286 personbiler, 31 varebiler, 34 motorer til tunge køretøjer samt nogle tohjulede køretøjer. Derudover er mindre måleprogrammer udført, der inkluderer kørsel med kold motor, kørsel i kø samt op- og nedkørsel. Målingerne er passende grupperet på strata, jf. ovenstående forklaring.

Emissionsmålingerne danner basis for emissionsfunktioner, der angiver emissioner ved givne kombinationer af hastigheder og accelerationer. Der findes emissionsfunktioner for hvert stratum.

Et arbejde med at beskrive den tyske trafik er sideløbende blevet gennemført. Trafikanalysen har kortlagt køretøjernes køremønstre for hvert stratum. Køremønstrene kombineres med emissionsfunktionerne, hvor ud fra emissionsfaktorer for hvert køremønster er beregnet for de enkelte strata.

Trafikanalysen har også kortlagt de forekommende trafiksituationer. Trafiksituationerne sammensættes af de køremønstre, der er fundet til at indgå i trafiksituationerne. Beregningen af emissionsfaktorer for hver trafiksituation udføres ved at kombinere de først beregnede emissionsfaktorer for de pågældende strata med den vægt, hvormed de indgår i trafiksituationen.

På grundlag af trafikanalysen er også beregnet gennemsnitlige emissionsfaktorer på koncept- og kategoriniveau. Ved disse beregninger tages hensyn til procentfordelingen af strata i den givne trafiksituation. Emissionsfaktorerne på koncept- og kategoriniveau er specifikke for de tyske trafiksituationer og kan derfor ikke umiddelbart benyttes for den danske trafik.

3.1.2 Varmstart emissioner

I emissionsmåleprogrammet er varmstart emissioner af CO, VOC, NO_x, partikler og energiforbruget fra personbilerne og varebilerne målt på rullefelt, mens motorerne for de tunge køretøjer er testet i en prøvebænk. Ud fra målingerne er emissionsfunktioner opstillet, der efterfølgende er brugt ved beregningerne af konkrete emissionsfaktorer. Ud over basismålingerne er nogle køretøjer også blevet testet som en del af koldstart- og fordampningsmåleprogrammet.

Princippet i beregningen af emissionsfunktioner for de enkelte køretøjer er, at emissionen er proportional med motorens energiforbrug. Energiforbruget går til at overvinde luft- og rullemodstand samt accelerationsmodstand. Emissionerne bliver målt kontinuert for alle personbiler og varebiler ud fra kørecyklusene "Neuer Europäischer Fahrzyklus", US FTP 75, "Highway cycle" og "Autobahn cycle" vist i Management Committee (1995 a og b). Samtidig registreres de øjeblikkelige hastigheder og accelerationer. Prøvecyklusene, der bruges i måleprogrammet, omfatter alle bilens køretilstande.

For personbiler og varebiler opstilles for hver stratum og emissionskomponent en matrice med parametrene hastighed og hastighed gange acceleration, der indeholder gennemsnitlige diskrete emissioner og energiforbrug. Middelværdierne i matricen er dannet ud fra samtlige målinger.

Til slut dannes emissions- og energifaktorer for person- eller varebiler, de såkaldte stratafaktorer, for 6 bykøremønstre og 6 landevejskøremønstre samt 9 partielle køremønstre for motorvej. Køremønstrene for motorvej har gennemsnitshastigheder inden for hver deres hastighedsinterval. Faktorerne beregnes ved at opsummere de enkelte emissionsbidrag fra kombinationerne af hastighed og hastighed gange acceleration, som køremønstrene består af og herefter dividere med strækningens længde.

I testprogrammet er omtrent 300 forskellige tunge køretøjer også blevet identificeret som værende repræsentative for den tyske og schweiziske bestand. For disse er 34 forskellige motorer regnet som dækkende. Både konstante og kontinuerte målinger er foretaget for CO, VOC, NO_x, partikler og energiforbrug. Som for personbiler bygger princippet for beregning af emissionsfaktorer for de enkelte strata

på, at emissionen og energiforbruget er proportional med motorens energiforbrug. Motorens energiforbrug opdeles i forbruget til at overvinde luft- og rullemodstand samt forbruget til acceleration. I accelerationsbidraget indgår også stigningsmodstanden.

De to energiforbrugsbidrag kan direkte beregnes ved de forskellige kombinationer af hastighed og hastighed gange acceleration som køremønstrene består af. Kombinationerne af hastighed og hastighed gange acceleration kan også konverteres til sammenhørende værdier af motordrejningsmoment og -hastighed under måleproceduren. Det er for disse værdier, der under måleproceduren opsamles emissioner og energiforbrug.

I praksis vil der nu optræde en forskel i energiforbruget (og emissionerne) målt i laboratoriet og energiforbruget beregnet på vej. Forskellen mellem de to energiforbrug er en korrektionsfunktion, der forholdsmæssigt skal lægges til laboratoriemålingerne både for emissioner og energiforbrug. Herved fremkommer realistiske energi- og emissionsmatricer for hver enkelt af de 34 motorer. Emissionsfaktorer (stratafaktorer) beregnes efterfølgende ud fra køremønstre, der er repræsentative for 6 forskellige vejtyper, 5 hældninger af vejnettet og 2 forskellige lastegrader.

Test af de tohjulede køretøjer indgår også i måleprogrammet, men målemetoden bliver ikke beskrevet nærmere her.

3.1.3 Koldstart tillæg

Emissionsmåleprogrammet for personbiler omfatter desuden koldstart simuleret i bytrafiksituationer. Målingerne er udført ved temperaturer på 20, 5 og -10°C ud fra US Test 75 proceduren. Test proceduren forløber i tre faser, fase 1 på 505 sekunder, der startes med kold motor, en varm fase 2 fra 506 til 1371 sekunder, efterfulgt af en pause på 10 minutter, hvorefter fase 1 køres igen med varm motor. Den sidste fase benævnes som fase 3. Emissionerne af CO, VOC, NO_x og CO₂ er både registreret pr. sekund i US testens 3 faser og opsamlet i poser for hver af de tre faser. Partikelemissionen fra dieselskøretøjerne er udelukkende opsamlet i pose i de tre faser af US testen. Energiforbruget for alle køretøjer i koldstartundersøgelsen er beregnet ud fra kulstofbalancen.

I måleprogrammet er køretøjerne opbevaret i 12 timer ved samme temperatur for at opnå den aktuelle testtemperatur. Ligeledes er målingerne ved testtemperaturerne -10 og 5°C udført med lyset tændt. Varmen i bagruden er også tændt ved testtemperaturen -10°C. Ved 20°C har intet ekstra energiforbrugende udstyr været tilkøbt.

I alt 48 personbiler, 26 katalysatorbiler, 4 open loop katalysatorbiler, 8 konventionelle benzinbiler og 8 dieselpersonbiler er blevet testet i koldstartprogrammet. Katalysatorbilerne havde ved målingerne i gennemsnit kørt 48.000 km inden for et interval mellem 2.500 og 100.000 km. Ligeledes er to dieselvarebiler testet.

Et resultat af koldstartundersøgelsen er, at omtrent 80 hhv. 60% af de samlede CO og VOC emissioner for hhv. katalysatorbiler og konven-

tionelle benzinbiler under hele US testen (17,8 km) bliver emitteret under de første 2 kilometers kørsel. Den store variation i koldstartemissionerne, der optræder til forskellige tidspunkter under kørslen med kold motor, tager koldstartundersøgelsen højde for.

Den ekstra emission fra den kolde motor efter en given kørt strækning, S , i US testen findes som differencen i emission mellem den kolde del af US testen, $E_{K,S,T,1}$, og den varme del af US testen, $E_{W,S,3}$. Emissionsforskellen benævnes $\Delta E_{K,S,T}(US)$.

$$\Delta E_{K,S,T}(US) = E_{K,S,T,1} - E_{W,S,3} \quad (1)$$

Dieseldrøjetøjernes partikelemissioner er ikke opsamlet kontinuert, men estimeres i stedet specielt ud fra VOC kurvernes forløb.

Resultaterne fra måleprogrammets varmstartdel under US testens fase 1 er benyttet som udgangspunkt ved forsøgstemperaturen 20°C. Basisprogrammet omfatter flere køretøjer end koldstartprogrammet og er derfor mere repræsentativt.

Koldstartundersøgelsens resultater kan transformeres til hele basisprogrammet ved brug af (2):

$$\Delta E_{K,S,T} = (EF_W / (E_W / S_W)_3) \cdot (E_{K,S,T,1} - E_{W,S,3}) \quad (2)$$

I ligningen angiver EF_W en given strataemissionsfaktor i g/km for varm motor, hvis koldstarttillæg ønskes beregnet. Det ses, at koldstarttillægget efter en given kørt strækning, $\Delta E_{K,S,T}$, beregnes ved at multiplicere emissionsforskellen mellem kold og varm motor fra US testen i formel 1, med strataemissionsfaktoren normeret med US fase 3 varmstartemissionsfaktoren $(E_W/S_W)_3$.

Koldstarttillægget fundet i (2) skal nu sammenholdes med den korte strækning, S , hvorunder emissionen er opsamlet og herefter lægges til strata emissionsfaktoren for varm motor. Den samlede faktor udtrykker den korrekte emissionsfaktor, når bilen kører på strækningen S . Emissionsfaktoren udtrykkes i ligning (3):

$$EF = EF_W + \Delta E_{K,T,S} / S \quad (3)$$

Da US testen ikke inkluderer høje hastigheder, er der ikke taget hensyn til koldstartemissionerne ved landevejs- og motorvejskørsel i testprogrammet. Heller ikke specielle forhold ved Stop and Go kørsel samt kørsel ved forskellige hældninger af gadenettet beregnes der koldstarttillæg for.

De tunge køretøjers og de tohjulede køretøjers koldstartemissioner er ikke undersøgt i emissionsprogrammet.

3.1.4 Hældning af vejnettet

Emissionsforholdene ved kørsel i kuperet terræn er også undersøgt. I måleprogrammet er 9 katalysatorbiler, 3 karburatorbenzinbiler og 3 dieslbiler testet ved hældningerne -6, -4, -2, 0, 2, 4 og 6%. Målingerne er udført ved en indstilling af rullefeltets modstand. De samme

biler er også anvendt i basismåleprogrammet og anses for repræsentative for de forskellige køretøjsstrata. Ved 0% hældning er basismålingerne benyttet, mens US test 75 med varm start er brugt for hældningerne \forall 2%. I hældningsklasserne \forall 4 og 6%, hvor hastigheden ikke længere er uafhængig af gradienten, er specielle køremønstre anvendt både for by-, land- og motorvejskørsel.

Som tilfældet er i basismåleprogrammet, skal emissionsfunktioner opstilles for de forskellige køretøjsstrata ved de 7 hældninger af vejnettet. Fordi antallet af faktisk udførte emissionsmålinger er for lavt, kan funktionerne dog ikke opstilles direkte. I stedet er fundet en metode, således at basismåleprogrammets resultater kan korrigeres ved hjælp af gradientmålingerne.

Først defineres $e_{j,k,G}$ som emissionen fra emissionsfunktionerne opstillet på basis af gradientmålingerne i de forskellige gradientklasser. Som indices for hastighed gange acceleration bruges j og for hastighed bruges k . G betegner den enkelte gradientklasse. Den samlede emission $E_{G,F}$ fra et givent køremønster F med fordelingen $h_{j,k,F}$ af parametrene hastighed og hastighed gange acceleration kan findes ved at summere op over hele køremønstret:

$$E_{G,F} = \sum \sum e_{j,k,G} \cdot h_{j,k,F} \quad (4)$$

Herefter beregnes hældningsfaktoren, $C_{G,F}$, som:

$$C_{G,F} = E_{G,F} / E_{0,F} \quad (5)$$

$E_{0,F}$ er beregnet ud fra ligning 4 for samme køremønster F men ved 0% hældning. På denne måde er hældningsfaktoren fundet udelukkende fra bilerne, der bruges i hældningsmåleprogrammet. Resultaterne fra gradientprogrammet skal herefter transformeres til basisprogrammet, således at emissionsfaktorer kan beregnes for gradientkøremønstrene for alle køretøjsstrata. Hertil benyttes basisprogrammets emissionsfunktioner, $e_{b,j,k}$ med køremønstret F udtrykt i ligning 6:

$$EF_{B,G,F} = \sum \sum e_{b,j,k} \cdot h_{j,k,F} \quad (6)$$

Strataemissionsfaktoren, $EF_{B,G,F}$ ved 0% hældning for gradientkøremønstret F kan nu korrigeres, hvorved strata emissionsfaktoren, $EF_{G,F}$ for alle gradientklasser og køretøjsstrata beregnes med ligning 7:

$$EF_{G,F} = C_{G,F} \cdot EF_{B,G,F} \quad (7)$$

Ovennævnte metode gælder for stofferne CO, VOC, NO_x og energiforbruget (og dermed SO₂ og CO₂). Fremgangsmåden for partikler forløber lidt anderledes. I dette tilfælde findes ikke kontinuerte emissionsmålinger, hvilket betyder, at $C_{G,F}$ og $EF_{B,G,F}$ fås som resultaterne af poseopsamlingen i den enkelte emissionstest. For tunge køretøjer inkluderer måleprogrammet også emissionskorrektion for vejnettets hældning. Metoden gennemgås dog ikke i denne rapport. De tohjulede køretøjers emissioner korrigeres ikke som følge af kørsel i kupe-ret terræn.

3.1.5 Stop and Go kørsel

Et udvalg af 15 katalysator-, 6 karburator- og 3 dieselpersonbiler og 1 varebil med direkte indsprøjtning er i måleprogrammet blevet testet specielt under forhold, der simulerer kørsel i kø. Proceduren simulerer vandret kørsel med varm motor i 0 meters højde over havets overflade og udføres ved en udetemperatur på 20°C. Testen gennemføres på rullefelt med en speciel 30 minutters kørecyklus, hvorfra emissionsfunktioner (emissionselementer ved hastighed og hastighed gange acceleration) dannes for hver køretøjsstrata.

Først defineres $e_{j,k,S}$ som emissionen fra de enkelte køretøjsstratas emissionsfunktioner opstillet på basis af emissionsmålingerne. Som index for hastighed gange acceleration bruges j og for hastighed bruges k . S betegner Stop and Go. Den samlede emission, $E_{S,F}$ fra køkørselsmønstret F med fordelingen $h_{j,k,F}$ af hastighed og hastighed gange acceleration beregnes ved at summere op over hele køremønstret:

$$E_{S,F} = \sum \sum e_{j,k,S} \cdot h_{j,k,F} \quad (8)$$

Herefter beregnes Stop and Go faktoren, $C_{S,F}$ som:

$$C_{S,F} = E_{S,F} / E_{B,F} \quad (9)$$

$E_{B,F}$ er beregnet ud fra ligning 8 for samme køremønster F ved brug af basisemissionsfunktionerne. På denne måde er Stop and Go faktoren fundet udelukkende fra bilerne, der bruges i køkørselsmåleprogrammet. Ud fra alle basisprogrammets emissionsfunktioner, $e_{b,j,k}$ med køremønstret F kan Stop and Go emissionsfaktorer beregnes ud fra ligning 10.

$$EF_{B,S,F} = \sum \sum e_{b,j,k} \cdot h_{j,k,F} \quad (10)$$

Basisresultaterne kan herefter overføres til den virkelige køkørselsituation ved at skalere med Stop and Go faktoren fundet i (9). Transformationen sker i (11), hvorved strata emissionsfaktoren, $EF_{S,F}$ for alle køkørselsituationer og køretøjsstrata dannes:

$$EF_{S,F} = C_{S,F} \cdot EF_{B,S,F} \quad (11)$$

Ovennævnte metode gælder for stofferne CO, VOC, NO_x og energiforbruget (og hermed SO₂ og CO₂). For partikler beregnes ikke en Stop and Go faktor. I dette tilfælde findes ikke kontinuerte emissionsmålinger. For tunge køretøjer inkluderer måleprogrammet også en emissionskorrektion ved køkørsel, som fås ud fra målingerne på varebilen med direkte indsprøjtning. De tohjulede køretøjers emissioner korrigeres ikke som følge af køkørsel.

3.1.6 Lastegradens indflydelse på tunge køretøjers emissionsfaktorer

I måleprogrammet tages der for tunge køretøjer hensyn til forøgede emissioner af NO_x samt et større energiforbrug, når lastegraden stiger. NO_x-emissionsfaktorerne og energiforbruget findes for lastegraderne 0, 50 og 100% for fire størrelser sololastbiler, fire størrelser last-

biler med anhænger og to størrelser sættevognstog Beregningsmetoden vil dog ikke blive gennemgået nærmere her.

3.1.7 Forværrelsesfaktorer

Forværrelsesfaktorer, der beskriver de forøgede emissioner som funktion af antallet af kørte kilometer, inddrages kun for katalysatorbiler. For dette køretøjskoncept registreres den mest markante stigning i emissionen som følge af den gradvise forringelse af katalysatorens virkningsgrad. I emissionsmåleprogrammet er emissionsfaktorer for CO, VOC og NO_x for 178 katalysatorbiler målt efter US test 75 optegnet som funktion af køretøjets kørte antal kilometer. Ud fra disse værdier er normerede forværrelseskurver optegnet.

Kurverne tager udgangspunkt i en gennemsnitssituation, hvor katalysatorbilerne gennemsnitligt har kørt 48.000 km. Strataemissionsfaktorer for katalysatorbiler i WB gælder altså for en situation, hvor bilerne har kørt 48.000 kilometer. Selve forværrelsesfaktoren regnet fra 0 til 80.000 kørte kilometer bliver for CO, VOC og NO_x hhv. 1.79, 1.74 og 1.9. Emissionsfaktoren for de tre stoffer bliver altså næsten dobbelt så stor som faktoren ved 0 km, når bilen har kørt 80.000 km.

3.2 Andre måleprogrammer

Forskellige måleprogrammer ligger til grund for de emissionsfaktorer, der bruges i Danmark. Emissionsfaktorerne bruges f.eks. ved lokale miljøvurderinger i bygader, til sammenligninger af forskellige transportformers emissioner og ved nationale emissionsberegninger. I dette afsnit beskrives kort princippet bag måleprogrammerne og videremodelleringen af emissionsfaktorer for to emissionsmodeller, der bruges i Danmark, samt et dansk emissionsmåleprogram.

3.2.1 COPERT II

En betragtelig del af de europæiske målinger er evalueret og inddraget i den europæiske emissionsmodel COPERT II, se Ahlvik m.fl. (1997). Bag modellens emissionsfaktorer ligger en omfattende mængde posemålinger af 2.118 personbiler og 52 varebiler (39 benzin- og 13 dieselvarebiler). For tunge køretøjer bruger COPERT II emissionsfaktorer fra det tysk/schweiziske måleprogram. De strata, som er indeholdt i COPERT II, fremgår af tabel 3.4 og 3.5.

Tabel 3.4 Køretøjsbestanden for personbiler fordelt på størrelse og emissionsregulativ (årgang) i COPERT II

Drivmiddel/princip	Størrelse	Emissionsregulativ	Årgang
Benzin	<1,4, 1,4-2,0 og >2,0 l.	PRE ECE	før 1970
		ECE 15/00-01	1970-1978
		ECE 15/02	1979-1980
		ECE 15/03	1981-1985
		ECE 15/04	1986- 31.09.1990
		91/441/EEC (EURO I)	1.10.1990-1996
		94/12/EEC (EURO II)	1997-2000
		EURO III	2001 og frem
Diesel	<2,0 og >2,0 l.	Konventionel	Før 1.10.1990
		91/441/EEC (EURO I)	1.10.1990-1996
		94/12/EEC (EURO II)	1997-2000
		EURO III	2001 og frem
LPG		Konventionel	Før 1.10.1990
		91/441/EEC (EURO I)	1.10.1990-1996
		94/12/EEC (EURO II)	1997-2000
		EURO III	2001 og frem
2-takt		Konventionel	

Tabel 3.5 Køretøjsbestanden for varebiler, lastbiler, busser og tohjulede køretøjer fordelt på størrelse og emissionsregulativ (årgang) i COPERT II

Kategori	Drivmiddel/størrelse	Emissionsregulativ	Årgang
Varebiler	Benzin	Konventionel	Før 1.10.1994
		93/59/EEC (EURO I)	1.10.1994-1998
		96/69/EEC (EURO II)	1999 og frem
	Diesel	Konventionel	Før 1.10.1994
		93/59/EEC (EURO I)	1.10.1994-1998
		96/69/EEC (EURO II)	1999 og frem
Lastbiler	Benzin > 3,5 t.	Konventionel	
	Diesel 3,5-7,5 t.	Konventionel	Før 1.10.1993
		91/542/EEC (EURO I)	1.10.1993-31.09.1996
		91/542/EEC (EURO II)	1.10.1996 og frem
	Diesel 7,5-16 t.	Konventionel	Før 1.10.1993
		91/542/EEC (EURO I)	1.10.1993-31.09.1996
		91/542/EEC (EURO II)	1.10.1996 og frem
	Diesel 16-32 t.	Konventionel	Før 1.10.1993
		91/542/EEC (EURO I)	1.10.1993-31.09.1996
		91/542/EEC (EURO II)	1.10.1996 og frem
	Diesel > 32 t.	Konventionel	Før 1.10.1993
91/542/EEC (EURO I)		1.10.1993-31.09.1996	
91/542/EEC (EURO II)		1.10.1996 og frem	
Rutebusser		Konventionel	Før 1.10.1993
		91/542/EEC (EURO I)	1.10.1993-31.09.1996
		91/542/EEC (EURO II)	1.10.1996 og frem
Turistbusser		Konventionel	Før 1.10.1993
		91/542/EEC (EURO I)	1.10.1993-31.09.1996
		91/542/EEC (EURO II)	1.10.1996 og frem
Knallerter	< 50 cc.	Konventionel	Før 18.8.1999
		97/24/EEC, trin I	18.8.1999-18.8.2002
		97/24/EEC, trin II	18.8.2002 og frem
Motorcykler	2-takt > 50 cc.	Konventionel	Før 18.8.1999
		97/24/EEC	18.8.1999 og frem
	4-takt < 250 cc.	Konventionel	Før 18.8.1999
		97/24/EEC	18.8.1999 og frem
	4-takt 250-750 cc.	Konventionel	Før 18.8.1999
		97/24/EEC	18.8.1999 og frem
	4-takt > 750 cc.	Konventionel	Før 18.8.1999
		97/24/EEC	18.8.1999 og frem

Der er 1.921 benzinpersonbiler i modellen, og heraf er 1.266 biler udstyret med katalysator. Antallet af ECE 15/04 biler er 174, og resten af testbilerne fordeles på andre emissionskategorier. Dieselpersonbilernes antal er på i alt 197, hvoraf 122 af bilerne svarer til nye EURO I dieslbiler. De resterende 75 dieselpersonbiler opfylder ECE 15/04 normen. Målingerne er opsamlet ved i alt 46 forskellige køremønstre udført på otte forskellige testlaboratorier i Europa (Samaras m.fl., 1997). Køremønstrene dækker et hastighedsinterval fra 5,2 km/h til 130 km/h.

Udover data for varme emissionsmålinger gør modellen også brug af data for emissioner ved koldstart. På basis af koldstartsmålinger er forholdet mellem emissionerne af CO, VOC, NO_x, partikler og energiforbruget fundet for forskellige køretøjstyper. Disse er samlet i tre hovedtyper: konventionelle benzinpersonbiler og -varebiler, benzinbiler og varebiler med katalysator og dieselpersonbiler og -varebiler. Kold/varm forholdene og metoden til videre beregning af de ekstra emissioner ved koldstart er beskrevet nærmere i afsnit 5.3 og af Winther og Ekman (1998).

Fordampningen af kulbrinter er også indbefattet i COPERT modellen. På dette sted skal det blot nævnes, at COPERT II inddrager tre typer af fordampningsemissioner. Fordampningen opstår under kørsel (running loss), når motoren netop er slukket (hot og warm soak) og som åndingstab fra benzintanken pga. døgnets temperaturvariation (diurnal loss). På basis af målinger bliver ligninger opstillet til beregning af fordampningsemissionerne. En nærmere beskrivelse er givet af Ahlvik m.fl. (1997). Beregningen af fordampningsemissioner med COPERT II er endvidere forklaret af Winther og Ekman (1998).

I COPERT II inddrages desuden effekten af vejnettets hældning (gradienten) på CO-, VOC-, NO_x- og partikelemissionen og energiforbruget fra tunge køretøjer. Kort beskrevet korrigeres de varme emissionsfaktorer med faktorer, der afhænger af køretøjets vægt, vejens hældning og den gennemsnitlige hastighed. Måledata stammer primært fra det tysk/schweiziske måleprogram og er nærmere beskrevet af Hassel m.fl. (1993) og Keller m.fl. (1995).

Tunge køretøjers emissioner af CO, VOC, NO_x og partikler samt energiforbruget er også inddraget i COPERT II ved forskellige lastegrader. Emissionsændringen som følge af vægtforskelle i belæsningsgraden er bestemt ud fra målinger på TRL (Transport Research Laboratory, UK). Her er emissionsfaktoren fundet til at være lineær afhængig af lastegraden ud fra den gennemsnitlige emissionsfaktor ved 50% last.

3.2.2 DTU modellen

En anden ofte anvendt emissionsmodel i Danmark er en computermodel udviklet af Sorenson og Schramm på DTU (1992). Modellen beregner emissionsfaktorer for køremønstre opsamlet i den danske trafik og benævnes i det følgende som DTU modellen. Ved simuleringen er brugt over 1.000 køremønstre ved by-, landevejs- og motorvejskørsel i Danmark og emissionsfaktorer for CO, VOC, NO_x,

partikler, og energiforbruget er beregnet for personbiler, lastbiler og busser.

For personbiler ligger målinger på svenske benzinbiler, fortrinsvis med motorstørrelser mellem 1,4 og 2 liter, til grund for modellen. I alt er emissionsdata for 10 katalysatorbiler og 59 nyere konventionelle benzinbiler benyttet. I modellen er de svenske målinger på konventionelle benzinbiler opskrevet med 7, 16 og 40% for VOC, CO og NO_x. Opskrivningen er sket som tilpasning til danske forhold, der især vedrører emissionsnormer og vedligehold. For dieselbiler er emissionsdata for nogle få tyske konventionelle dieselbiler, med motorstørrelser over 2 liter, anvendt.

Modellens beregningsprincip er at benytte den øjeblikkelige emission ved sammenhørende værdier for hastighed og acceleration fra standardtestcyklerne US FTP 75, Highway fuel economy test og European urban driving cycle. Emissionselementerne kombineres med de sammenhørende værdier for hastighed og acceleration fra de danske køremønstre. Emissionsfaktorer beregnes som summen af emissions-elementerne for køremønstret delt med køremønstrets længde.

Ved store rejsehastigheder beregnes DTU modellens emissionsfaktorer separat i to situationer for katalysatorbiler. I det første tilfælde virker katalysatoren efter hensigten, mens den i det andet tilfælde ikke virker optimalt. En årsag til at den sidste situation kan opstå kan være ønsket om en bedre accelerationsevne for små biler ved høje hastigheder. En stor accelerationsevne kan ikke opnås med det luft-/brændstofforhold, der kræves, for at katalysatoren fungerer optimalt.

DTU modellens emissionsfaktorer er ved moderate hastigheder forsøgt eksperimentielt eftervist i et dansk måleprogram for benzinbiler med og uden katalysator, se afsnit 3.2.3. Ved høje hastigheder er den ovenfor nævnte katalysatorvirkning undersøgt for tre biler i et selvstændigt måleprogram (Sorenson, 1992). Målingerne tydede dog ikke på en forringet katalysatorvirkningsgrad.

Der bruges ikke direkte målinger af varebilers emissioner i modellen. I stedet er en gennemsnitlig varebils emissioner simuleret ud fra en 50% opskrivning af personbilernes emissioner.

For lastbiler og busser er testdata fra den europæiske 13-mode test cyklus brugt. Emissionerne er målt i g/kWh. I modellen er emissionerne omformet til g/km gældende for kørsel på vej ud fra antagelser om gearskifte ved typiske kørselsforhold. En nærmere beskrivelse er givet i modellens dokumentation. I den oprindelige version af modellen er emissioner og energiforbrug simuleret for tunge køretøjer under 20 tons (lastbiler og busser) og over 20 tons (store lastbiler, lastbiler med anhænger og sættevognstog). Gennemsnitsvægten i de to vægtkategorier er hhv. 10 og 26 tons.

Grunddata for personbiler og varebiler (opskrevet ud fra personbilemissioner) er viderebearbejdet i Miljøstyrelsen (1991) og Vejdirektoratet (1992). Her er korrigeret for koldstart og motorslid, så emissionerne svarer til trafikens virkelige udslip. For koldstart bruges CO- og VOC-emissioner pr. sekund under koldstarten, kombineret med

den gennemsnitlige tid det tager, før motoren er varm. Emissionerne pr. sekund afhænger af udetemperaturen og er fundet ved litteraturstudier. Motorsliddets indflydelse på emissionerne af CO, VOC og NO_x kompenseres der for ved at bruge generelle forværrelsesfaktorer. Faktorerne angiver forøgelsen af emissionsfaktorerne ved 107.000 km kørsel i forhold til nye bilers emissionsfaktorer.

Modellen er senere opdateret og udvidet til at kunne simulere emissioner for 5 lastbiltyper og 1 rutebus. De nye emissionsberegninger er brugt i Trafikministeriet (1996) og Winther (1998). En videre tilpasning af modellens emissionsfaktorer for varebiler, busser og lastbiler er også gjort i Trafikministeriet (1996) og Winther (1998). Her er lastbilernes lastegrader inkluderet i emissionsudtrykkene, og emissionsfaktorer for bl.a. andre bustyper og -størrelser er modelleret.

3.2.3 Danske emissionsmålinger

Et dansk emissionsmåleprogram blev i 1993 gennemført for personbiler. I måleprogrammet er emissionsfaktorer for CO, VOC, NO_x og CO₂ målt på rullefelt for 11 katalysatorbiler og 10 konventionelle benzinbiler hovedsageligt med motorstørrelser mellem 1,4 og 2 liter. Målingerne er udført ved at bruge køremønstre opsamlet i den danske trafik og har blandt andet haft til formål at eftervise DTU modellens simulerede emissionsfaktorer. Resultaterne fra måleprogrammet er beskrevet af Hansen og Winther (1993).

Hovedsageligt er emissionsfaktorerne målt for varme motorer. Enkelte koldstartsmålinger er dog også gennemført separat i måleprogrammet. Som køremønstre er brugt et uddrag af de køremønstre, der også er brugt i DTU modellen. Kriteriet for udvælgelse har været at dække et bredt interval af køremønstre med rejsehastigheder op til omtrent 110 km/h. Køremønstrene er også udvalgt med en passende variation i tomgang, konstant hastighed, acceleration og decelleration, beskrevet ved spredningen på rejsehastigheden.

Generelle emissionsfaktorer for de to benzinbiltyper er ud fra forsøgsresultaterne beregnet som en midling af mindst fire forskellige bilers emissionsfaktorer opsamlet ved samme køremønster.

4 Emissionsfaktorer

Grundlaget for emissionsberegninger er først fastlagt, når realistiske emissionsfaktorer for køretøjernes kørsel med varm motor er fremskaffet. Emissionsfaktorerne kan opsamles som samlede målinger på basis af køremønstre eller beregnes ved at kombinere kontinuerte emissioner og køremønstre fra trafikken efter forskellige principper.

Indledningsvis i dette kapitel gennemgås kort en kategorisering af emissionsfaktorerne fra de danske målinger samt DTU- og COPERT II modellen. I afsnit 4.2 beskrives mere udførligt for hvilke køretøjer, og ud fra hvilke forudsætninger emissionsfaktorer beregnes i WB. Selvom de varme emissioner er kernen i måleprogrammet bag WB, vil koldstarts- og fordampningsemissionerne også blive berørt. Som en del af beskrivelsen vil WB's emissionsfaktorer blive vurderet ud fra deres anvendelighed til at beregne danske emissioner.

Når alle datakilder er beskrevet, sammenlignes emissionsfaktorerne for rejsehastigheder i afsnit 4.3. Herigennem belyses det for udvalgte køretøjsstrata, hvor meget WB faktorerne afviger fra det øvrige danske grundlag for emissionsfaktorer. Sammenligningen gøres både ved at optegne emissionsfaktorer på kurver for de mest almindelige personbiler og ved at kvantificere emissionsforskellene i en beregningssituation. Til slut i dette kapitel gives en kvalitativ vurdering af følsomheden på emissionsfaktorer og emissionsberegninger ved i stedet for rejsehastigheder at bruge trafiksituationer.

4.1 Emissionsfaktorer fra modeller anvendt i Danmark

Emissionsmåleprogrammerne og emissionsmodellerne brugt i Danmark er beskrevet i afsnit 3.2. I det følgende gennemgås nærmere, hvilke køretøjstyper disse målinger anviser emissionsfaktorer for.

COPERT II modellen indeholder CO-, VOC-, NO_x-, partikel- (kun for diesel) og energiforbrugsfaktorer ved kørsel med varm motor samt de ekstra emissioner ved koldstart og fordampning for vejtrafikkens forskellige strata. Specielt for lastbiler bliver emissionsfaktorerne også differentieret efter lastegrader og vejnettets hældning. De strata, som COPERT II anviser emissionsfaktorer for, er opstillet i tabel 3.4 og 3.5 i afsnit 3.2.1. For alle strata er emissionsfaktorer tilnærmet kurver som funktion af rejsehastigheden. Formeludtrykkene bag kurverne er angivet i Ahlvik m.fl. (1997).

Ved brug af DTU modellen er rejsehastighedsafhængige emissionsfaktorer for CO, VOC, NO_x, partikler og energiforbruget beregnet for personbiler, varebiler, lastbiler og busser. Grunddata i simuleringsmodellen beskriver de varme emissionsfaktorer for konventionelle benzinbiler af ECE 15/04 type og nye katalysatorbiler, med motorstørrelser mellem 1,4 og 2,0 liter, samt konventionelle dieselbiler med motorer større end 2 liter. Derudover er to lastbilstørrelser med totalvægte på 10 og 26 tons simuleret i modellen.

Person- og varebilernes emissionsfaktorer og energiforbrug er korri-geret for koldstart og motorslid, jf. afsnit 3.2.2, så emissionerne svarer til trafikens virkelige udslip. En opdateret modelversion indeholder emissionsfaktorer og energiforbrug for i alt 5 lastbiltyper og 1 rutebus. Ud fra disse er effekten af lastbilers lastegrader og andre bustyper og -størrelses emissionsfaktorer og energiforbrug modelleret, jf. afsnit 3.2.2.

I det danske emissionsmåleprogram, beskrevet af Hansen og Winther (1993), er emissionsfaktorer for CO, VOC, NO_x og CO₂ målt for benzpersonbiler. Ved måling af emissionsfaktorerne er brugt køremønstre opsamlet i den danske trafik. Emissionsfaktorerne er typiske for katalysatorbiler og konventionelle ECE 15/04 benzinbiler med motorstørrelser mellem 1,4 og 2 liter.

4.2 Workbook of Emission Factors (WB)

Princippet bag WB er at beregne emissionsfaktorer for trafiksituationer i stedet for at bruge rejsehastigheden som parameter. I måleprogrammet er kontinuerte måleværdier opsamlet under standardtestcykler og herudfra er emissions- og energifunktioner for alle strata fastlagt. Køremønstre fundet i trafikken er herefter brugt sammen med emissions- og energifunktionerne i WB og strataemissions- og energifaktorer er beregnet.

Trafiksituationerne beskrives i sidste trin som dele af de indgående strata og deres køremønstre. Emissions- og energifaktorerne for trafiksituationerne beregnes ud fra den vægt, hvormed strata og deres køremønstre indgår i trafiksituationen.

Databasen WB benytter til beregning af emissionsfaktorer i en given trafiksituation, som forklaret i det ovenstående, bl.a. faste oplysninger om trafiksammensætningen (procentdelen af forskellige strata i trafiksituationen). Herudover anvender modellen meteorologiske data. Oplysningerne gælder specielt for Tyskland.

De beregnede emissionsfaktorer skal derfor bruges med et vist forbehold. På grund af forskelle i trafiksammensætninger af trafiksituationer kan emissionsfaktorerne udelukkende anvendes på det mest detaljerede niveau for varme motorer (strataniveauet) i den danske trafik. For kolde motorer og ved fordampning gælder dette også, samtidigt med at brugeren delvis må bruge tyske meteorologiske data til beregning.

WB kan beregne emissionsfaktorer på forskelligt aggregeringsniveau i en given trafiksituation. Ved beregningen skal specificeres oplysninger om emissionstype, køretøjskategori, beregningsår, emissionskomponent, trafiksituation, hældning af vejnet, samt data vedrørende koldstart og fordampning. I det følgende gennemgås de ovennævnte inputdele, og der redegøres for kritiske punkter, hvor WB ikke direkte kan bruges til danske emissionsberegninger.

4.2.1 Kategori, koncept og strata for køretøjer

Databasen kan beregne emissionsfaktorer på forskelligt aggregeringsniveau og for forskellige år. Det mest aggregerede niveau består af emissionsfaktorer for køretøjskategorierne, dvs. personbiler, varebiler, tunge køretøjer (sololastbil, lastbil med anhænger og lastbil med sættevogn), turistbusser, rutebusser og tohjulede køretøjer. Emissionsfaktorer kan også beregnes for hvert køretøjskoncept, der beskriver drivmiddel og køretøjets teknologiske stade og på det mest detaljerede niveau i de såkaldte køretøjsstrata (strata), jf. afsnit 3.1.1. Emissionsdata på kategori- og konceptniveau kan ikke umiddelbart benyttes under danske trafikforhold.

I kapitel 3 er inddelingen i koncept og strata opstillet som den bruges i WB, jf. tabel 3.2 og 3.3.

4.2.2 Køremønstre, trafiksituationer og trafik sammensætning

Som en del af måleprogrammet er repræsentative køremønstre for alle strata opsamlet i den tyske trafik. Køremønstrene sammensættes til trafiksituationer, hvorefter emissionsfaktorer beregnes enten på strata-, koncept- eller kategoriniveau. Standardkøremønstrene for databasens koncepttyper er opstillet i tabel 4.1.

Tabel 4.1 Standardkøremønstre for personbiler og varebiler i databasen

Køremønster	Motorvej
V075	Køremønster for alle strata, 70-80 km/h
V085	Køremønster for alle strata, 80-90 km/h
V095	Køremønster for alle strata, 90-100 km/h
V105	Køremønster for alle strata, 100-110 km/h
V115	Køremønster for alle strata, 110-120 km/h
V125	Køremønster for alle strata, 120-130 km/h
V135	Køremønster for alle strata, 130-140 km/h
V145	Køremønster for alle strata, 140-150 km/h
STGOMway	Stop and Go, $v = 9,4$ km/h
Køremønster	Bykørsel og landevejskørsel
DP1	Bykørsel, $v=18,6$ km/h
DP2	Bykørsel, centrum med ukoordinerede trafiklys, $v=19,8$ km/h
DP3	Bykørsel, med ukoordinerede trafiklys, $v=32,0$ km/h
DP4	Bykørsel, gennemfartsvej med flaskehalse, $v=37,5$ km/h
DP5	Bykørsel, gennemfartsvej, $v=46,2$ km/h
DP6	Landevejskørsel, varierende, $v=60,6$ km/h
DP7	Landevejskørsel, smalle veje, $v=58,4$ km/h
DP8	Landevejskørsel, flydende trafik med acceleration, $v=78,3$ km/h
DP9	Landevejskørsel, flydende trafik med forsinkelse, $v=72$ km/h
DP10	Landevejskørsel, flydende trafik, $v=76,7$ km/h
STGO IBA	Bykørsel, trafikprop, $v=5,3$ km/h

Udover standardkøremønstrene er der fastlagt 6 køremønstre for kørsel i kuperet terræn. En beskrivelse af disse kan ses i FEA (1995). For lastbiler, busser og tohjulede køretøjer er standardkøremønstrene opstillet i tabel 4.2.

Tabel 4.2 Standardkøremønstre for tunge køretøjer og udvalgte køremønstre for tohjulede køretøjer i databasen

1	Lastbil, motorvej, flydende trafik, v=86 km/h
2	Lastbil, landevej, 2-,3- og 4 sporet, v=79 km/h
3	Lastbil, landevej, andre veje, v=65 km/h
4	Lastbil, bykørsel, hovedfærdselsårer, v=47 km/h
5	Lastbil, bykørsel, centralt, langt mellem kryds, v=26 km/h
6	Lastbil, bykørsel, centralt, kort mellem kryds, v=17 km/h
7	Turistbus, motorvej, flydende trafik, v=103 km/h
8	Turistbus, landevej, 2-,3- og 4 sporet, v=98 km/h
9	Turistbus, landevej, andre veje, v=65 km/h
10	Turistbus, bykørsel, hovedfærdselsårer, v=47 km/h
11	Turistbus, bykørsel, centralt, langt mellem kryds, v=20 km/h
12	Turistbus, bykørsel, centralt, kort mellem kryds, v=14 km/h
13	Rutebus, bykørsel, centralt, kort mellem kryds, v=16 km/h
14	Rutebus, bykørsel, centralt, langt mellem kryds, v=22 km/h
15	Rutebus, landevej, 2-,3- og 4 sporet, v=40 km/h
15	Rutebus, landevej, andre veje, v=40 km/h
15	Rutebus, bykørsel, hovedfærdselsårer, v=40 km/h
TW2	Motorcykel, v=26 km/h
TW7	Motorcykel, v=84,8 km/h
TW12	Motorcykel < 50 cc, v=20 km/h
TW14	Motorcykel, < 50 cc, v=40 km/h
TW13	Knallert, v=26 km/h

De angivne køremønstre for tohjulede køretøjer er kun eksempler udvalgt fra det samlede antal i databasen. Udover køremønstrene for tunge køretøjer i tabellen findes der også køremønstre for specielle trafiksituationer.

Køremønstrene for både tunge køretøjer og tohjulede køretøjer, der ikke er angivet i tabel 4.2, er beskrevet i FEA (1995).

Køremønstrene sammensættes til trafiksituationer, som databasen beregner emissionsfaktorer for på et strataniveau. Fremgangsmåden er at lade emissionsfaktorerne for de relevante køremønstre indgå med samme vægt i trafiksituationens emissionsfaktor, som køremønstrene indgår i trafiksituationen. Standardsituationerne er opstillet i tabel 4.3.

Tabel 4.3 Trafikstandardsituationer i databasen for alle køretøjskategorier

Motorvej	
AB>120	Ingen fartgrænse, < 1.400 køretøjer/h/spor, v = 130 km/h
AB_120	Fartgrænse 120 km/h, < 1.400 køretøjer/h/spor, v = 120 km/h
AB_100	Fartgrænse 100 km/h, < 1.400 køretøjer/h/spor, v = 105 km/h
AB_80	Fartgrænse 80 km/h, < 1.500 køretøjer/h/spor, v = 90 km/h
AB_60	Fartgrænse 60 km/h, < 1.500 køretøjer/h/spor, v = 80 km/h
AB>120	Ingen fartgrænse, > 1.400 køretøjer/h/spor, v = 85 km/h
AB_120	Fartgrænse 120 km/h, > 1.400 køretøjer/h/spor, v = 85 km/h
AB_100	Fartgrænse 100 km/h, > 1.400 køretøjer/h/spor, v = 85 km/h
AB_80	Fartgrænse 80 km/h, > 1.500 køretøjer/h/spor, v = 85 km/h
AB_60	Fartgrænse 60 km/h, > 1.500 køretøjer/h/spor, v = 75 km/h
AB_Baust1	Vejarbejde, tosporet, v = 90 km/h
AB_Baust2	Vejarbejde, et spor, v = 75 km/h
AB_Stop+Go	Køkkørsel, v = 9 km/h
Landevej	
AO_1	Lige vej, v = 77 km/h
AO_2	Vej med regelmæssige sving, v = 68 km/h
AO_3	Vej med uregelmæssige sving, v = 61 km/h
By	
IO_HVS>50_1	Hovedfærdselsåre, fartgrænse > 50 km/h, få forstyrrelser, v = 58 km/h
IO_HVS>50_2	Hovedfærdselsåre, fartgrænse > 50 km/h, med forstyrrelser, v = 48 km/h
IO_HVS>50_3	Hovedfærdselsåre, fartgrænse > 50 km/h, mange forstyrrelser, v = 38 km/h
IO_HVS1	Gennemfartsvej, ingen forstyrrelser, v = 58 km/h
IO_HVS2	Hovedfærdselsåre, få forstyrrelser, v = 46 km/h
IO_HVS3	Hovedfærdselsåre, med forstyrrelser, v = 39 km/h
IO_HVS4	Hovedfærdselsåre, mange forstyrrelser, v = 32 km/h
IO_LSA1	Hovedfærdselsåre med trafikregulering, få forstyrrelser, v = 39 km/h
IO_LSA2	Hovedfærdselsåre, med trafikregulering med forstyrrelser, v = 28 km/h
IO_LSA3	Hovedfærdselsåre, med trafikregulering, mange forstyrrelser, v = 24 km/h
IO-Kern	Vej i bymidte, v = 20 km/h
IO_Nebenstr_dicht	Sidevej uden lysregulering, v = 19 km/h
IO_Nebenstr_locker	Sidevej med lysregulering, v = 32 km/h
IO_Stop+Go	Køkkørsel i by, v = 5 km/h

Databasen kan ikke bare beregne strata emissionsfaktorer, men også emissionsfaktorer på koncept- og kategoriniveau for personbiler, varebiler, lastbiler (solo, med anhænger og med sættevogn), turistbusser, rutebusser, knallerter og motorcykler. For hver enkelt trafiksituation gøres dette ud fra antallet i procent af de enkelte strata (trafiksammensætningen). Emissionsfaktorerne beregnet ud fra trafiksammensætningen gælder specifikt for den tyske trafik, og kun

strata emissionsfaktorerne kan umiddelbart anvendes på et dansk niveau.

For alle køretøjskategorier, dog undtaget rutebus og knallerter, rummer databasen som standard 13 situationer for motorvejskørsel. Kørsel i landområde dækkes af 3 trafiksituationer (2 for knallerter), mens bykørsel kan vælges i 14 forskellige trafiksituationer.

Ud over standardtrafiksituationerne er det også muligt at beregne emissionsfaktorer i trafiksituationer specielt for de individuelle køretøjskategorier. De ekstraordinære trafiksituationer er angivet i FEA (1995).

4.2.3 Referenceår og fremtidige scenarieår

Emissionsfaktorer for årene frem til år 2010 beregnes ved at nedskrive emissionsfaktorer ud fra et referenceår på basis af EURO 1, 2 og 3 normerne. Reduktionen sker for stofferne CO, VOC, NO_x og partikler for personbiler, varebiler, de tunge køretøjer og busser samt de tohjulede køretøjer.

Også energiforbruget nedskrives for de forskellige køretøjskategorier. I personbilernes tilfælde forventes en 1% forbedring i brændstofføkonomi for nye biler ud fra de nye biler i det foregående år. For tunge køretøjer og busser forventes ud fra køretøjer fremstillet i 1980'erne en 5% forbedring gældende for både EURO 1, 2 og 3, mens der ikke regnes med energiforbedringer for de tohjulede køretøjer. For hver af kravperioderne er de procentvise emissionsreduktioner vist i tabel 4.4.

Forværrelsesfaktorer, der beskriver de forøgede emissioner som følge af motorslid og forringelse af katalysatorens virkningsgrad, er indbygget i databasen for katalysatorbiler.

Table 4.4 Procentvise emissionsreduktioner for fremtidige køretøjer ud fra basiskøretøjerne

	CO varm	CO kold	VOC varm	VOC kold	NO _x varm	NO _x kold	Partikler varm	Partikler kold
Personbiler, benzin	Basis: Katalysatorbiler, fremstillet i år 1987-90							
Katalysator (fra 1991)	-36	-12	-37	-14	-1	0	-	-
EURO II (fra 1997)	-70	-50	-70	-50	-20	-50	-	-
EURO III (fra 2001)	-70	-90	-70	-90	-60	-90	-	-
Personbiler, diesel	Basis: Dieselmotorer, EURO I							
EURO II (fra 1997)	0	0	0	0	-10	0	-20	0
EURO III (fra 2001)	-20	-10	-20	-10	-40	-10	-70	-10
Varebiler, benzin	Basis: Benzinvarebiler fremstillet i år 1987-90							
EURO II (fra 1997)	-40	-50	-40	-50	-40	-50	-	-
EURO III (=EURO II)							-	-
Varebiler, diesel	Basis: Dieselvarebiler fremstillet efter 1986							
EURO I (fra 1995)	0	0	-30	0	-30	0	-40	0
EURO II (fra 1998)	-10	-10	-40	-10	-40	-10	-50	-10
EURO III (= EURO II)								
Tunge køretøjer og busser	Basis: Tunge køretøjer og busser fremstillet i 1980'erne							
EURO I (fra 1993)	-10		-10		-30		-20	-
EURO II (fra 1997)	-20		-20		-40		-70	-
EURO III (fra 2001)	-50		-40		-60		-80	-
Motorcykler, 4-takt	Basis: 4-takt som SEEA 3 (Schweiz norm)							
EURO II (= SEEA 3)								
EURO III (fra 2001)	-80		-40		0	-	-	-
Motorcykler, 2-takt < 50 cc.	Basis: 2-takt nutidig motorcykel							
EURO II (= SEEA 3)								
EURO III (fra 2001)	-85		-80		0	-	-	-
Motorcykler, 2-takt > 50 cc.	Basis: 2-takt > 50 cc. Som SEEA 3 (Schweiz norm)							
EURO II (= SEEA 3)								
EURO III (fra 2001)	-85		-75		0	-	-	-

Emissionsfaktorer kan beregnes for forskellige referenceår (scenarieår). Alle referenceårene (fra 1980 til 2010) er karakteriseret ved en trafiksmensætning gældende for tyske forhold, når en given køretøjskategori vælges. Vægtede emissionsfaktorer kan ikke bruges i den danske trafik. Emissionsfaktorerne angives dog også pr. strata som umiddelbart kan benyttes til videre brug. Referenceåret 0 giver emissionsfaktorer for alle strata.

4.2.4 Emissionstype

Databasen WB kan beregne emissionsfaktorer for varm start eller udføre en separat beregning af enten koldstarttillægget eller emissionsbidraget ved fordampning. Det givne køretøjs varme emissions-

faktorer i [g/km] afhænger af den valgte trafiksituation, der behandles senere i dette afsnit.

Metoden til beregning af koldstarttillægget for personbiler i WB er gennemgået i afsnit 3.1.3. Koldstarttillægget, der beregnes i [g/start], afhænger af flere faktorer: udetemperaturen, motortemperaturen, turlængden og køremønstret. Som udetemperatur kan enten bruges en årstid eller en årlig gennemsnitstemperatur. Begge temperaturvalg indeholder den befolkningsvægtede årlige tyske fordeling på månedernes maximum- og minimumtemperatur. Som en sidste mulighed kan der også benyttes specifikke temperaturer i databasen. De tilgængelige muligheder for temperaturvalg gør det ikke muligt at specificere en maksimum- og minimum temperaturfordeling ud fra danske forhold.

Motortemperaturen afhænger af, hvor længe køretøjet har stået stille. Til denne brug kan enten specificeres holdetider på 0-1 timer, 1-2 osv. op til over 8 timer. Der kan også vælges en gennemsnitlig fordeling inden for pauseintervallerne fundet for den tyske trafik. Det er ikke muligt i databasen at indtaste en fordeling gældende for bestemte danske forhold, hvis en sådan var kendt.

Også turlængden kan specificeres som enten 1, 2, 3, 4 eller over 4 km, hvor motoren er helt varm. Ligeledes gives mulighed for at vælge en standardfordeling af turlængden fundet for tyske forhold. Inputsiden giver ikke mulighed for at specificere en fordeling fundet for den danske trafik. Til brug for beregning af koldstarttillægget skal også angives et specielt koldstartkøremønster. Køremønstret skal benyttes, idet koldstarttillægget som gennemgået i afsnit 3.1.3 beregnes uafhængigt af den valgte trafiksituation under varmstart.

Fordampningsemissionen fra kulbrinter deles op i stopemissioner (hot soak) og tank-ånding (diurnal), der stammer fra benzinbiler og -varebiler. Bidrag til fordampningsemissionen under kørsel (running loss) er endnu ikke implementeret i databasen pga. utilstrækkelige data. Stopemissioner i [g/stop] optræder, når føreren har stillet køretøjet fra sig. Til bestemmelse af bidraget benyttes den specificerede turlængde, der har indflydelse på motortemperaturen. Emissioner fra tankånding opgøres i [g/døgn]. Til beregning af denne emissionstype bruges udetemperaturfordelingen. Som før nævnt er udetemperaturfordelingen opstillet ud fra tyske meteorologiske observationer, som ikke kan anvendes til danske forhold. Fordampningsemissionerne fra tankånding kan altså ikke udregnes med WB for den danske trafik.

4.2.5 Emissionskomponenter

Det er muligt at få beregnet faktorer for emissionskomponenterne af CO, NMVOC, CH₄, NO_x, partikler, CO₂, SO₂, bly og benzen samt energiforbruget. WB giver ikke mulighed for at beregne emissionsfaktorer for N₂O og NH₃. Det skal her anføres, at CO₂ beregnes ud fra energiforbruget, med faste omregningsfaktorer for både benzin og diesel. For stofferne bly og SO₂ bliver emissionsfaktorerne ikke beregnet for hver enkelt strata. I stedet bliver disse beregnet som aggregerede faktorer for den givne køretøjskategori. Da faktorerne gi-

ves pr. køretøjskategori, kan disse ikke umiddelbart anvendes for danske forhold. Yderligere gælder det, at brændstofkvaliteten ikke nødvendigvis er ens i Danmark og Tyskland.

Både CH₄ og benzen beregnes som en vis procentdel af den samlede VOC-emission inden for de forskellige køretøjskategorier. For CH₄ bruger modellen procentdelene 5, 15 og 3 for konventionelle benzinbiler, benzinbiler med katalysator og dieselskøretøjer. Procentsatserne for benzen fremgår af tabel 4.5.

Tabel 4.5 Benzenandele i masseprocent af samlet VOC i udstødningen for databasens køretøjskategorier

	Varm	Kold	Fordampning
Konventionel benzinbil	5,5	4,8	1,5
Benzinbil med katalysator	8,4	5,1	1,5
Dieselskøretøjer	1,9	1,9	0
2-takt konventionel	5,0	5,0	1,5
2-takt med katalysator	5,0	5,0	1,5

4.2.6 Last på tunge køretøjer og hældning af vejnet

Emissionerne af NO_x og energiforbruget for tunge køretøjer afhænger i høj grad af vægten af det transporterede gods. I databasen beregnes NO_x-emissionsfaktorer og energiforbrug for fire størrelser sololastbiler og fire størrelser lastbiler med anhænger samt to størrelser sættevognstog. Som lastegrader bruges 0, 50 og 100%.

Ved beregning af emissionsfaktorer for alle køretøjskategorier undtaget knallerter og motorcykler kan påvirkninger fra kørsel i kuperet terræn inddrages. Som gradienter findes vandret (0%), gennemsnitlig kørsel i kuperet terræn med ∇ 2, 4 og 6% samt en enten op- eller nedkørsel, der varierer fra 6, 4 osv. ned til -6%. I afsnit 3.1.4 er korrektionsfaktorer for gradienter ved beregning af emissionsfaktorer nærmere berørt.

4.3 Sammenligning af emissionsfaktorer for rejsehastigheder

I Zachariadis (1996) blev foretaget en sammenligning mellem emissionsfaktorer for varmstart, hentet fra henholdsvis COPERT 90, den tidligere version af COPERT II, og beregnet med WB ud fra dens trafiksituationer. De to modellers emissionsfaktorer blev optegnet på kurver for CO, VOC, NO_x og partikler. Kurverne blev vist for forskellige motorstørrelser for ECE 15/04 biler og katalysatorbiler samt dieselsbiler fra 1986-88. Zachariadis (1996) brugte WB's katalysatorbiler fra før 1991 med en gennemsnitlig kørsel på 60.000 km. Emissionsfaktorerne blev derfor korrigeret, så det svarede til, at bilen havde kørt omtrent 20.000 km ligesom bilerne i COPERT 90.

Arbejdet har tjent som inspiration til sammenligningen af emissionsfaktorer i denne rapport. I sammenligningen inddrages varme emissionsfaktorer for stofferne CO, VOC, NO_x for ECE 15/04 biler, katalysatorbiler og dieslbiler. Den første køretøjskategori indeholder nyere konventionelle benzinbiler med første registreringsår i Danmark mellem 1. januar 1986 og 1. oktober 1990. Katalysatorbilerne er både EURO I biler (registreret efter 1. oktober 1990) og den nyeste generation af katalysatorbiler registreret før denne dato. Dieslbilerne er den konventionelle type med førsteregistreringsdato før 1. oktober 1990 og EURO I biler. Emissionsfaktorerne er hentet fra WB, COPERT II, DTU modellen og Hansen og Winther (1993).

I tabel 4.6 er antallet af testbiler opstillet, der ligger til grund for de tegnede emissionsfaktorkurver.

Tabel 4.6 Antallet af testbiler bag de optegnede emissionsfaktorkurver

Strata	WB	COPERT II	DTU	Danske målinger
ECE 15/04, < 1,4 l.	7	84	-	-
ECE 15/04, 1,4-2,0 l.	14	75	59	10
ECE 15/04, > 2,0 l.	16	16	-	-
Katalysator, < 1,4 l.	11	356	-	-
Katalysator, 1,4-2,0 l.	69	737	10	11
Katalysator, > 2,0 l.	18	171	-	-
Diesel (konventionel), < 2,0 l.	13	59	-	-
Diesel (konventionel), > 2,0 l.	12	16	Ikke oplyst	-
Diesel EURO I	9	122	-	-

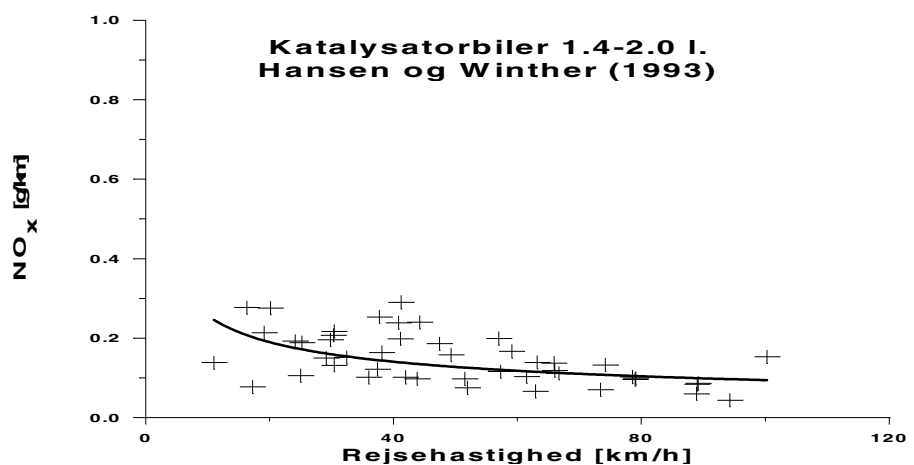
Til at tegne kurverne for ECE 15/04 bilerne og katalysatorbilerne i WB og COPERT er tilsendte data fra Zachariadis (1996) brugt for de tre motorstørrelser. Efterfølgende er en justering af emissionsfaktorerne for katalysatorbilerne i WB gjort, så de svarer til en kørsel på omtrent 50.000 km som bilerne i COPERT II. For den mellemste motorstørrelseskategori er faktorerne fra WB og COPERT II også sammenlignet med emissionsfaktorerne fra DTU og de danske måleværdier.

COPERT II's katalysatorbiler er ligeligt fordelt mellem biler fra den nyeste generation før EURO I trådte i kraft, og biler der overholder EURO I normen. I WB tilhører de tilsendte emissionsfaktorer den førstnævnte generation af katalysatorbiler. Alligevel er en korrektion af de to modellers emissionsfaktorer ikke gjort frem til EURO I normen. Dels er justeringen af en mindre størrelsesorden, og dels er der også gjort en generalisering af testbilernes emissionsnormer i DTU-modellen og det danske måleprogram. Kun som et gennemsnit vurderes bilerne fra disse at passe til et gennemsnit for EURO I normens mellemmotorstørrelse.

I det danske måleprogram blev forsøgene udført med en lav belastning på rullefeltet, der kan have påvirket måleresultaterne.

Alle kurverne, der vises i følgende afsnit, er optegnet som non-lineære regressioner mellem emissionsfaktorerne og deres køremønstres gennemsnitshastigheder ved brug af et statistisk analyseværktøj. De diskrete værdier for emissionsfaktorerne er med denne metode tilnærmet kurver, hvor rejsehastigheden er parameter.

Før emissionsfaktorerne sammenlignes på kurver, er det nødvendigt at bemærke, at emissionsfaktorerne bag kurverne ikke er indtegnet på figurerne i dette afsnit og at emissionsfaktorerens non-lineære regressioner sker ud fra en visuel vurdering. I visse tilfælde er kurvetilnærmelsen indlysende. Ofte kan randeffekter dog give problemer ved afbildningen. Her tænkes især på forløbet af kurverne ved helt små og meget høje rejsehastigheder. Figur 4.1 illustrerer dette fænomen. På figuren ses, at emissionsfaktorerne ligger meget spredt omkring den tilnærmede kurve. Ved lave rejsehastigheder stiger kurven, men et mere vandret kurveforløb kan også forsvares.



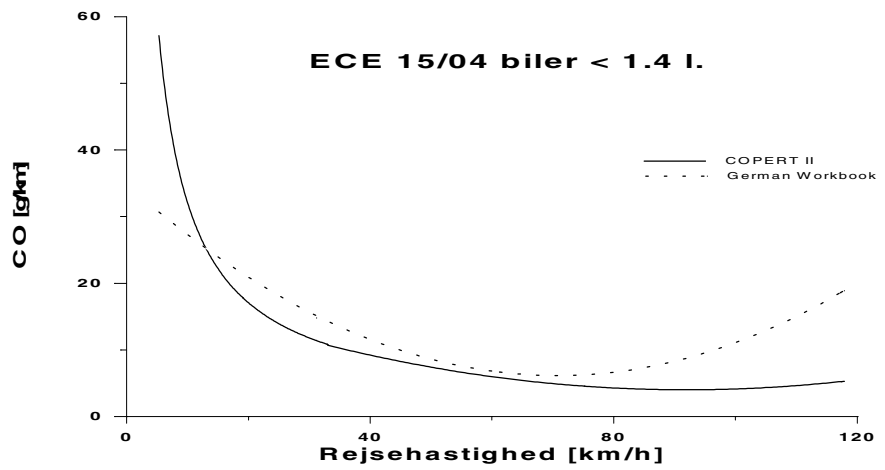
Figur 4.1 Målte NO_x-emissionsfaktorer og tilnærmet kurve for det danske måleprogram

4.3.1 Konventionelle benzinbiler

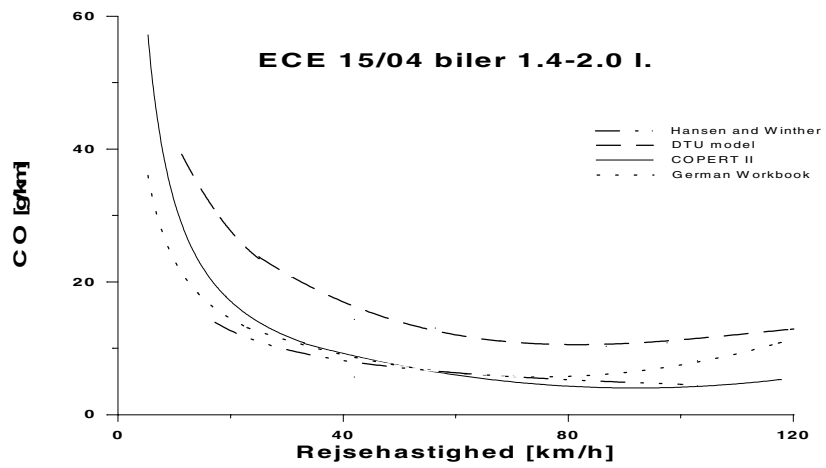
CO-emissionsfaktorerne er vist på figur 4.2-4.4 for de fire forskellige kilder.

Ved helt lave rejsehastigheder er COPERT-faktorerne for CO noget større end faktorerne fra WB. Dette gælder for den mindste og den mellemste motorstørrelse, og tendensen er især udpræget for den mindste motorstørrelse.

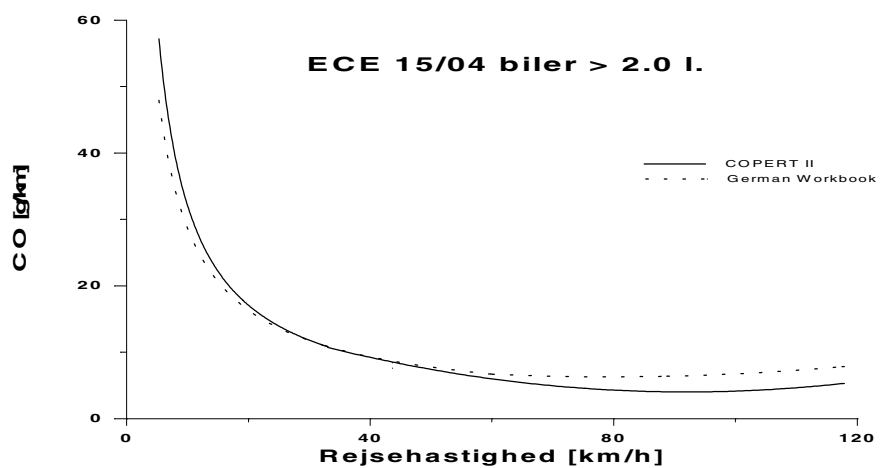
Forskellen skyldes, at få men store emissionsfaktorer trækker COPERT-kurven op ved lave hastigheder. Ved lidt højere hastigheder nærmer de to kurver sig samme niveau, når hastigheden stiger frem til 60 km/h. For øgede rejsehastigheder stiger WB-faktorerne markant i forhold til COPERT-kurverne, igen tydeligst for den mindste motorstørrelse. De fleste COPERT-målinger ligger lavt ved de største rejsehastigheder i disse tilfælde.



Figur 4.2 CO-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (<1,4 l.) i COPERT II og WB



Figur 4.3 CO-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (1,4-2,0 l.) i COPERT II, WB, DTU samt Hansen og Winther



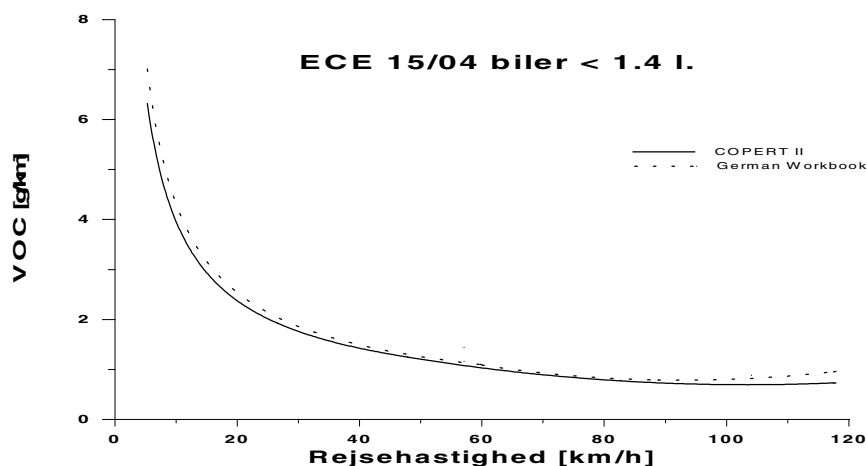
Figur 4.4 CO-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (>2,0 l.) i COPERT II og WB

For motorstørrelser over 2 liter er de to kurver omtrent sammenfaldende ved rejsehastigheder op til 50 km/h. For rejsehastigheder der-

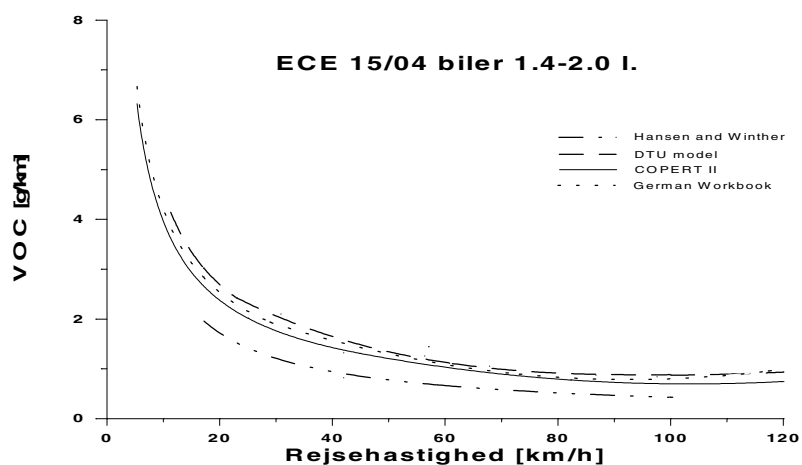
over stiger WB-faktorerne mere end kurven for COPERT. En grund til forskellene i emissionsfaktorer for CO kan ikke gives.

For de mellemste motorstørrelser er faktorer fra DTU modellen og det danske måleprogram også indtegnet på figur 4.3. DTU modellens faktorer ligger meget højt ved alle rejsehastigheder, højere end hvad den oprindelige opskrivning på 16% berettiger til. Kurvens forløb er dog mere fladt end COPERT og WB ved lave rejsehastigheder og især WB-kurven for de højeste rejsehastigheder. De danske CO-måleværdier er lave ved alle rejsehastigheder omtrent på niveau med WB's og COPERT's emissionsfaktorer.

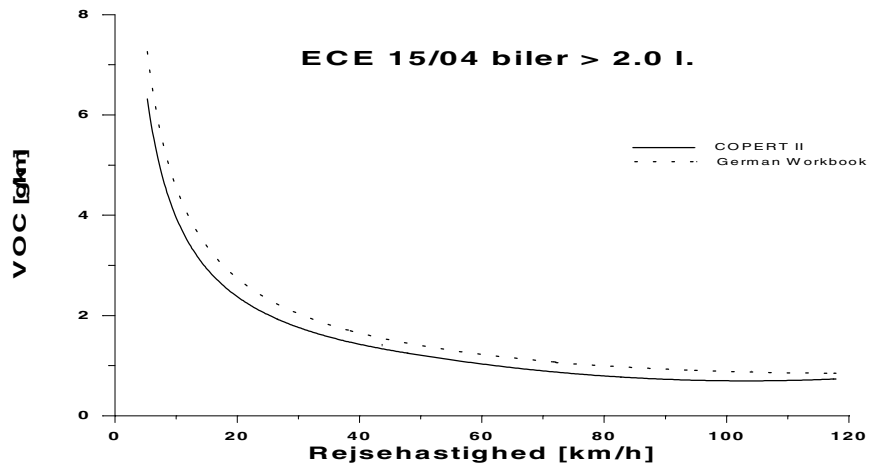
For VOC er WB- og COPERT-kurverne for emissionsfaktorer omtrent sammenfaldende for alle tre motorstørrelser. Dette ses på figur 4.5-4.7. For den mellemste størrelseskategori afbildet på figur 4.6 ligger DTU modellens faktorer på samme niveau. På samme figur ses, at de danske måleværdier for VOC ligger mellem 25 og 50% lavere end de øvrige kurver. Dette kan skyldes det lave antal testbiler i måleprogrammet og deres stand. En lignende om end svagere tendens gør sig gældende for CO.



Figur 4.5 VOC-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (<1,4 l.) i COPERT II og WB



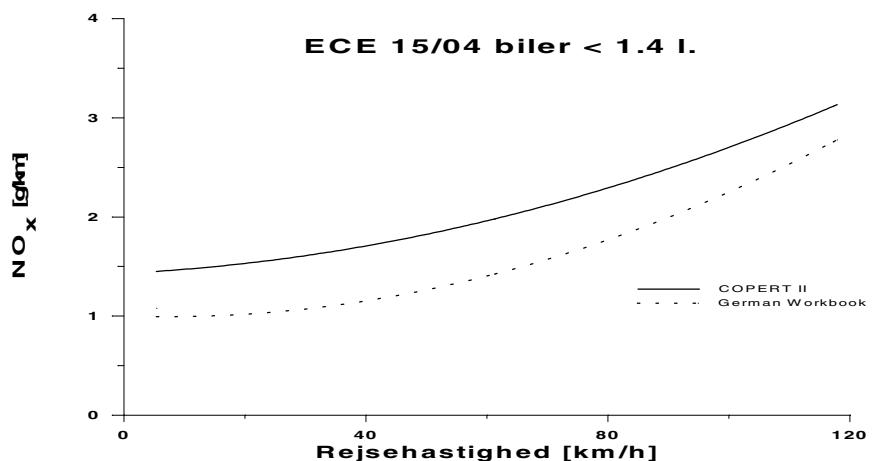
Figur 4.6 VOC-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (1,4-2,0 l.) i COPERT II, WB, DTU samt Hansen og Winther



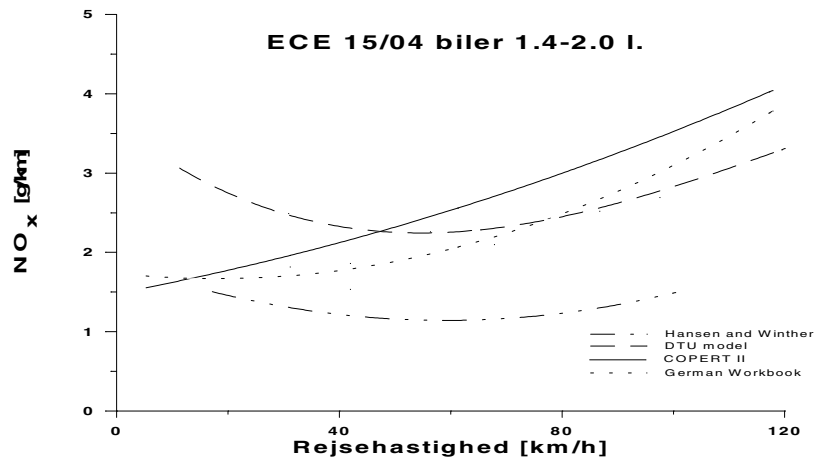
Figur 4.7 VOC-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (>2,0 l.) i COPERT II og WB

NO_x-emissionsfaktorerne er vist for ECE 15/04 bilerne på figur 4.8-4.10 for de tre motorstørrelser. Forløbet af kurverne for WB og COPERT viser pæne overensstemmelser i alle tre situationer. Generelt er COPERT-faktorerne en anelse højere end WB. Specielt for den mindste motorstørrelse er værdien 50% højere end WB ved lave rejsehastigheder.

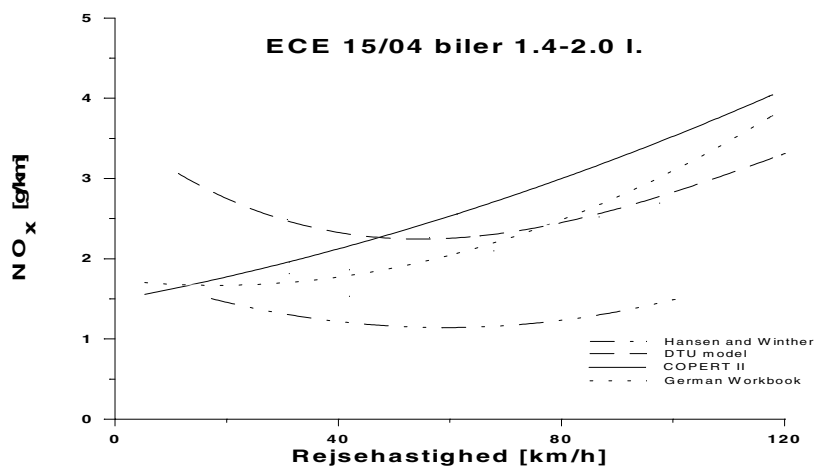
Kurver for DTU modellens NO_x-faktorer og de danske måleværdier er også indtegnet på figur 4.9. DTU modellens faktorer er omtrent dobbelt så høje som WB- og COPERT-niveauet ved de laveste rejsehastigheder. DTU-faktorerne falder dog markant med stigende rejsehastighed frem til omtrent 60 km/h. På trods af at modellens faktorer herefter igen stiger, er de lavere end WB- og COPERT-værdierne ved rejsehastigheder over 80 km/h. Tages opskrivningen af NO_x-emissionerne med 40% i betragtning, nærmer DTU modellens faktorer sig WB- og COPERT-kurverne ved lave hastigheder, men vil ligge meget under disse ved store rejsehastigheder.



Figur 4.8 NO_x-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (<1,4 l.) i COPERT II og WB



Figur 4.9 NO_x-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (1,4-2,0 l.) i COPERT II, WB, DTU samt Hansen og Winther



Figur 4.10 NO_x-emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler (>2,0 l.) i COPERT II og WB

De danske måleværdier ligger lavest ved alle rejsehastigheder. Forskellen skyldes den lave rullemodstand ved forsøg, som medfører en lav motortemperatur, der vil reducere NO_x-emissionen. Det lille antal testede biler og deres stand i det danske måleprogram kan måske også forklare noget af forskellen.

På baggrund af analyserne kan det siges, at NO_x-emissionsfaktorerne bestemmes relativt usikkert i måleprogrammerne, mens CO- og VOC-emissionsfaktorerne bestemmes mere præcist. Der er særlig stor usikkerhed på emissionsfaktorerne ved lave og høje rejsehastigheder, fordi der kun er få målinger for disse kørselsforhold. Dette illustrerer CO-emissionsfaktorerne for små biler. Her ligger WB-kurven noget lavere end COPERT-kurven ved lave rejsehastigheder, mens det modsatte er tilfældet ved høje hastigheder.

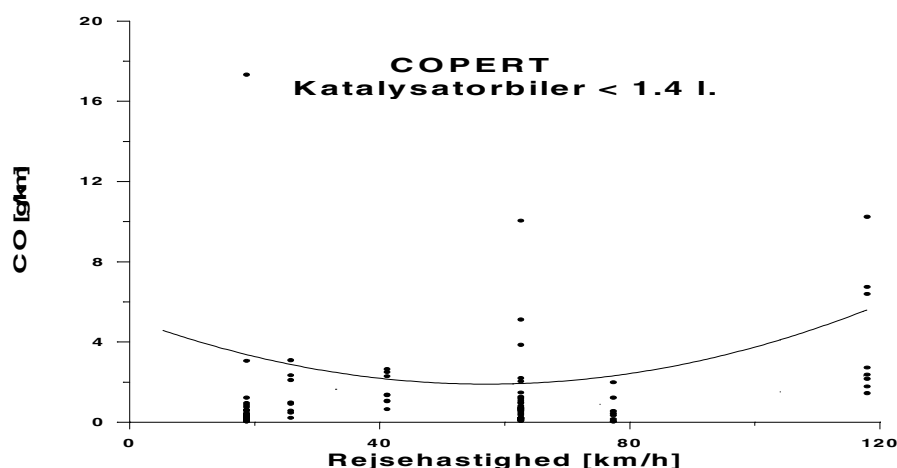
4.3.2 Varmstartemissionsfaktorer for katalysatorbiler

På figur 4.11-4.13 og 4.14-4.16 er de fire kilders emissionsfaktorkurver for CO og VOC tegnet for de tre motorstørrelser. På både CO og VOC-kurverne ses, at faktorerne for WB stiger voldsomt ved de lave-

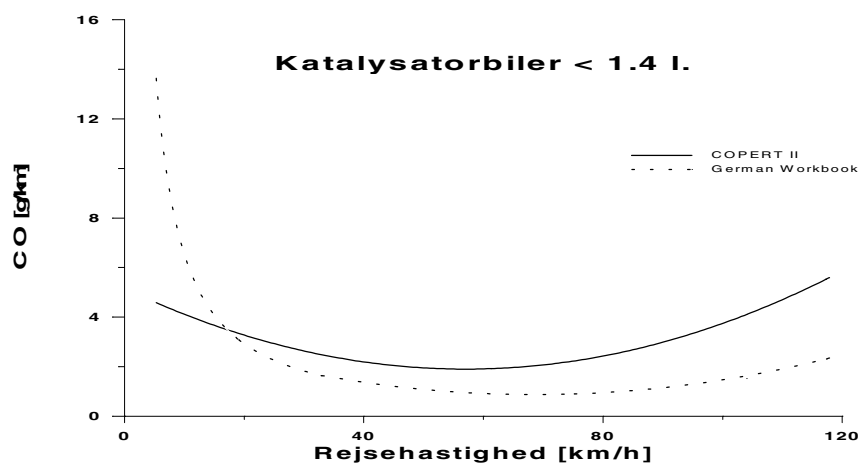
ste rejsehastigheder sammenlignet med COPERT-kurven. Dette gælder for alle tre motorstørrelser. En årsag til forskellen kan være, at COPERT's emissionsfaktorer ved disse hastigheder er fremkommet ved ekstrapolation. En emissionsmåling ved knap 20 km/h repræsenterer emissionsfaktoren ved den laveste rejsehastighed på kurven.

Samtidigt gælder, at de tilnærmede kurver får forskelligt udseende afhængigt af, hvilken matematisk approksimering der bruges. For WB får den tegnede kurve derfor et meget stejlt forløb, hvis den resulterende kurve skal ligge tæt på de relativt få målepunkter, der eksisterer især ved lave rejsehastigheder.

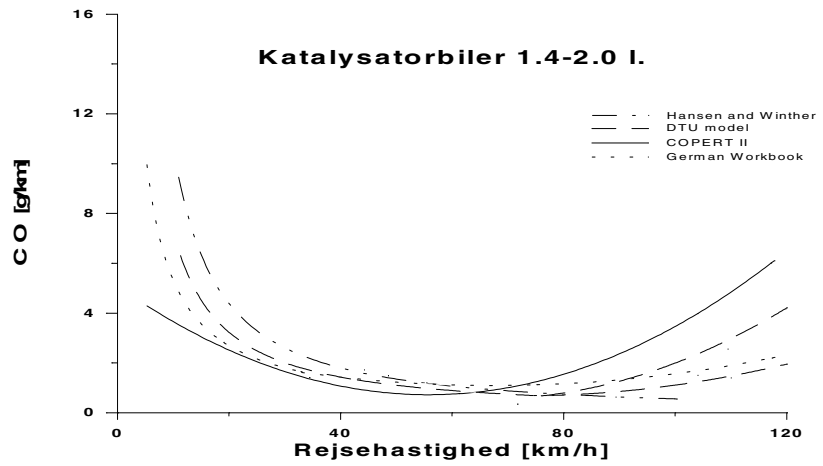
Omvendt bliver COPERT-faktorerne 2-3 gange højere end WB faktorerne ved de største rejsehastigheder for den mindste og den mellemste motorstørrelse. Årsagen kan være, at katalysatorbilerne i COPERT bruger en federe brændstof/luft-blanding i disse situationer. En anden forklaring kan være, at der ikke er målinger bag COPERT kurven i hastighedsintervallet mellem 80 og 120 km/h. Dermed bliver emissionsfaktorerne ved de største rejsehastigheder i større grad udslagsgivende for den resulterende kurves form. Figur 4.11 viser dette.



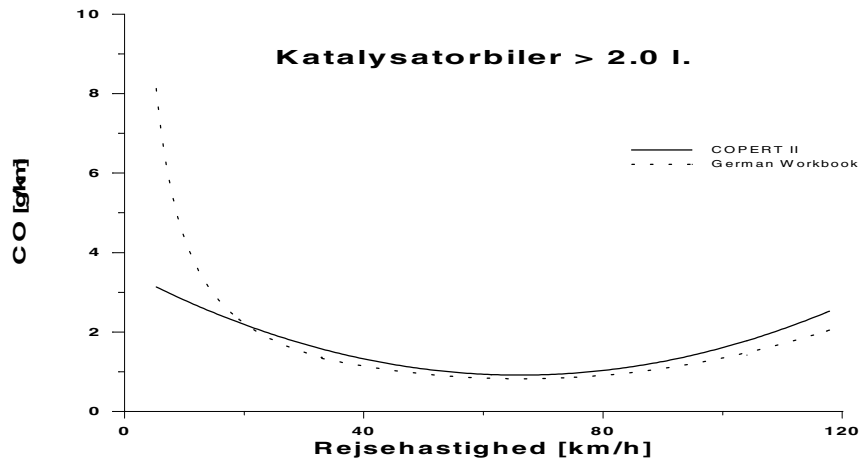
Figur 4.11 CO-emissionsfaktorerne bag katalysatorbiler (<1,4 l.) i COPERT II



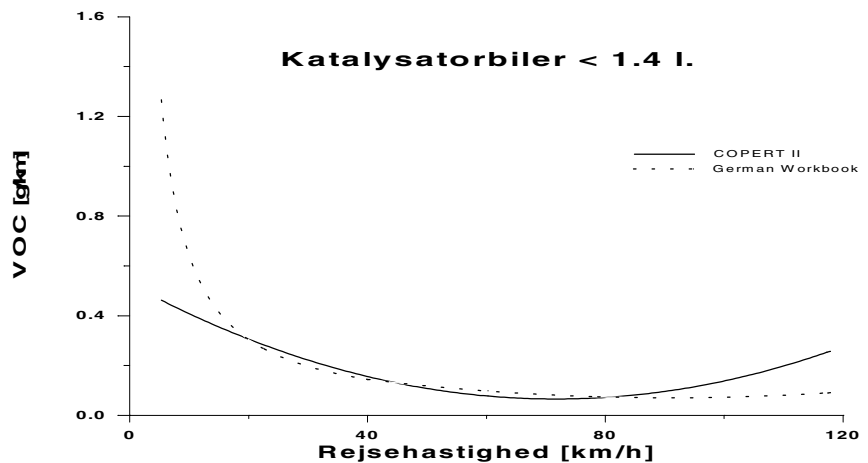
Figur 4.12 CO-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (<1,4 l.) i COPERT II og WB



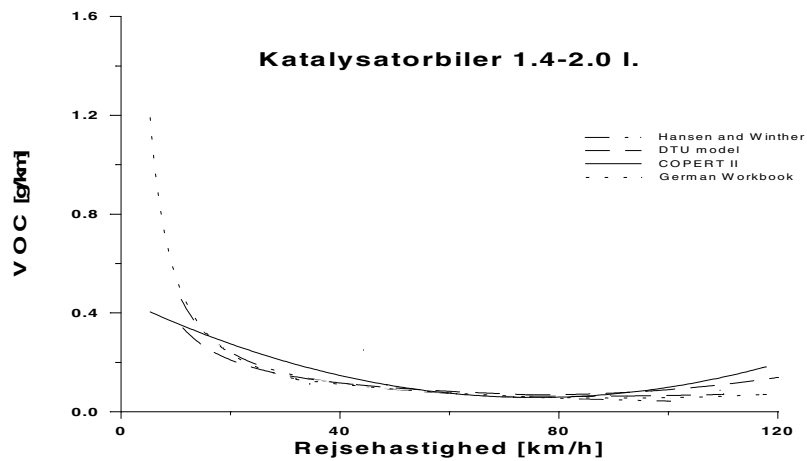
Figur 4.13 CO-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (1,4-2,0 l.) i COPERT II, WB, DTU samt Hansen og Winther



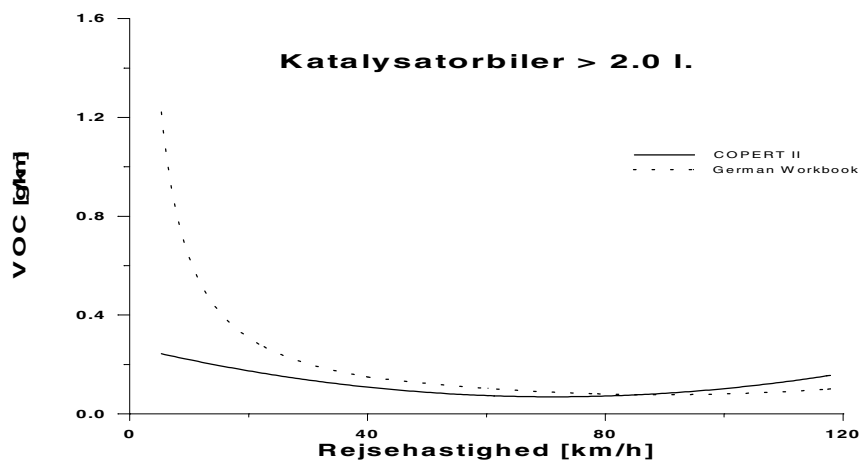
Figur 4.14 CO-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (>2,0 l.) i COPERT II og WB



Figur 4.15 VOC-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (<1,4 l.) i COPERT II og WB



Figur 4.16 VOC-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (1,4-2,0 l.) i COPERT II, WB, DTU samt Hansen og Winther



Figur 4.17 VOC-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (>2,0 l.) i COPERT II og WB

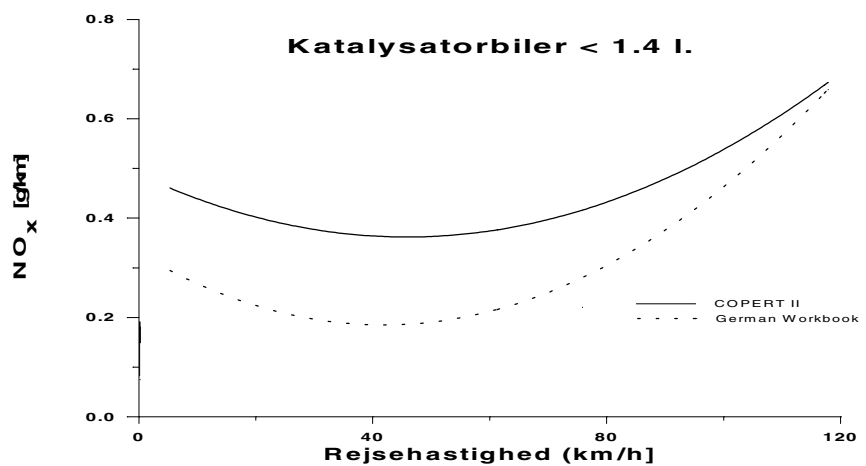
DTU modellens faktorer og de danske emissionsfaktorer er indtegnet for CO og VOC på figur 4.13 og 4.16 for den mellemste motorstørrelse. For begge stoffer har DTU modellens kurve omtrent samme form som kurven for WB. Ved de lave rejsehastigheder ligger CO-kurven en anelse højere end WB-kurven, men falder til et lavere niveau for rejsehastigheder over 40 km/h. DTU modellens VOC-kurve ligger derimod lidt højere for rejsehastighederne op til 40 km/h, hvorefter den kryber under WB-kurven.

For hastigheder over 80 km/h er der på figurerne 4.13 og 4.16 indtegnet to DTU-kurver for lav og høj katalysatorvirkningsgrad, jf. beskrivelsen i afsnit 4.2. Ved 90 km/h ligger både CO- og VOC-kurven for situationen med lav katalysatorvirkningsgrad (der afstedkommer høje emissionsfaktorer) over WB-kurven, men er til stadighed placeret under kurven for COPERT.

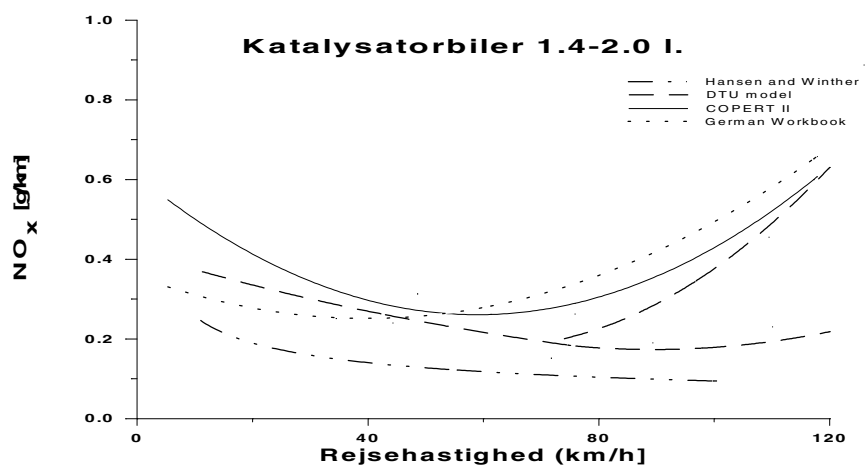
CO-kurven for den høje katalysatorvirkningsgrad (der giver lave emissionsfaktorer) ligger under WB-kurven, men nærmer sig dennes niveau ved de største rejsehastigheder. Kurven for VOC ligger en smule højere end WB-kurven.

Beliggenheden i forhold til WB- og COPERT-kurverne viser ikke entydigt, om den lave katalysatorvirkningsgrad er berettiget at inddrage i DTU modellen. Kurven for de danske måleværdier fremstiller dette problem yderligere. For de mindste rejsehastigheder ligger kurven højest af alle for CO og har WB's niveau for VOC. Ved 60 km/h kryber både CO- og VOC-kurverne for de danske målinger under WB-kurverne. Faldet fortsætter med stigende rejsehastigheder frem til sluthastigheden 100 km/h, hvor kurverne ligger lavest af alle.

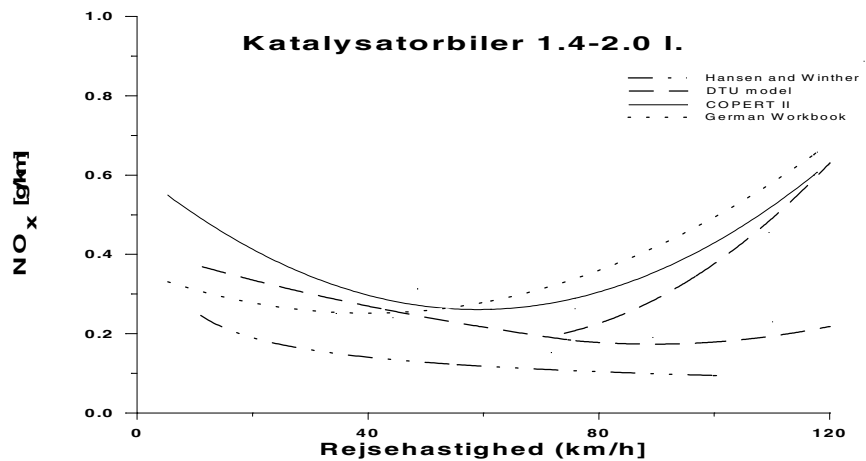
For CO og VOC er der ifølge de danske målinger og Workbook modellen ikke noget, der tyder på en specielt forringet katalysatorvirkningsgrad ved store hastigheder som tilfældet er for COPERT kurven.



Figur 4.18 NO_x-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (<1,4 l.) i COPERT II og WB



Figur 4.19 NO_x-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (1,4-2,0 l.) i COPERT II, WB, DTU samt Hansen og Winther



Figur 4.20 NO_x-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (>2,0 l.) i COPERT II og WB

På figur 4.18-4.20 er NO_x-emissionsfaktorerne vist for katalysatorbilerne for de tre motorstørrelser. For de mindste biler med motorstørrelser under 1,4 liter er COPERT-værdierne næsten dobbelt så store som WB-faktorerne for små rejsehastigheder. Katalysatorerne for testbilerne i COPERT virker altså dårligere for NO_x i dette hastighedsområde. Ved stigende rejsehastigheder fra 40 km/h stiger WB-kurven og når næsten COPERT-kurvens niveau ved 120 km/h.

For mellemkategorien er COPERT-kurven også væsentligt højere beliggende end WB og indikerer en ringere virkningsgrad for NO_x i COPERT-bilernes tilfælde. Forskellen er op mod 75% for den laveste rejsehastighed. Med stigende rejsehastigheder falder COPERT-kurven kraftigt og når WB-kurvens niveau ved omtrent 50 km/h. For øgede rejsehastigheder stiger begge kurver kraftigt i samme takt.

Fra et niveau der er omtrent 75% større ved laveste rejsehastighed, falder COPERT-kurven kraftigt for biler med motorstørrelser over 2 liter. Ved de mellemliggende hastigheder 40-80 km/h har de to kurver omtrent samme niveau. For de største rejsehastigheder stiger COPERT-kurven kraftigt i forhold til WB.

NO_x-emissionsfaktorerne er også indtegnet for DTU modellen og de danske måleværdier for de mellemste motorstørrelser på figur 4.19. Ved rejsehastigheder op til 40 km/h ligger DTU modellens kurve mellem COPERT og WB. Kurven fortsætter med at falde for kurvedelen med høj katalysatorvirkningsgrad. Ved den maksimale rejsehastighed er denne kurve kun omtrent 40% af niveauet for COPERT- og WB-kurverne. Kurven for lav katalysatorvirkningsgrad stiger derimod voldsomt og overgår tilmed COPERT og WB-kurverne ved de største hastigheder.

For alle rejsehastigheder har de danske måleværdier det laveste niveau. Grunden er, at NO_x-emissionen for katalysatorbiler i det danske måleprogram påvirkes af den lavere belastning på rullefeltet, men også det lille antal testbiler kan indvirke på måleprogrammets resultat.

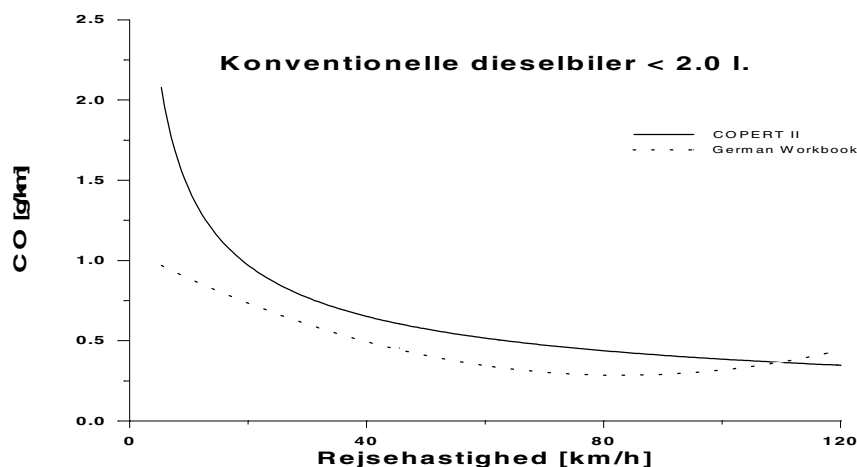
Ud fra NO_x -kurvernes forløb er der ikke muligt entydigt at afgøre, om katalysatoren har en forringet virkningsgrad. COPERT og WB modellens emissioner stiger markant ved de største rejsehastigheder. I modsætning til disse kurver ligger de danske måleværdier på et lavt niveau for alle rejsehastigheder.

Som for de konventionelle benzinbiler kan det konkluderes, at usikkerheden på emissionsfaktorerne for katalysatorbiler er større for NO_x end for CO og VOC. For få målinger gør også, at der er usikkerhed på niveauet for CO og VOC ved lave og høje rejsehastigheder. I disse situationer ligger COPERT-kurven noget lavere end WB-kurven, når rejsehastighederne er lave, mens situationen er omvendt ved høje rejsehastigheder.

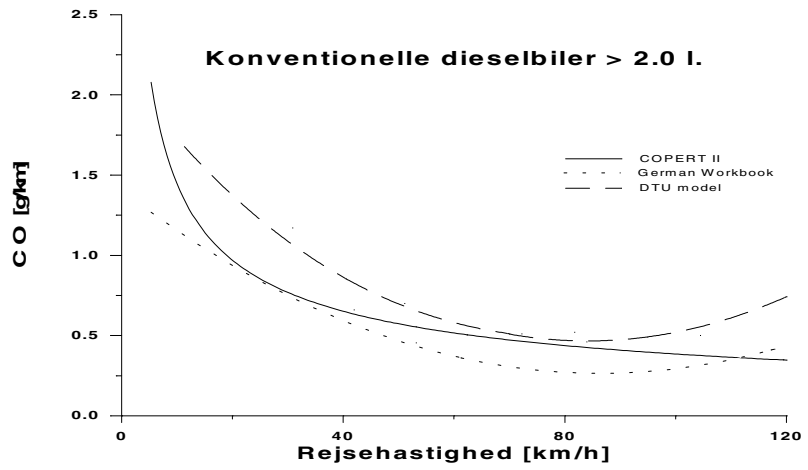
4.3.3 Varmstartemissionsfaktorer for dieslbiler

For konventionelle dieselpersonbiler med motorstørrelser mindre og større end 2 liter er COPERT og WB's emissionsfaktorer indtegnet på figurerne 4.21-4.28. DTU modellens faktorer er også indtegnet for motorstørrelser over 2 liter. Når COPERT- og WB-kurverne sammenlignes, ses at COPERT-faktorerne ligger højest. Forskellen er mest udtalt på CO- og VOC-kurverne ved lave hastigheder for begge motorstørrelser samt for partikler over hele rejsehastighedsspektret. Der er også en markant forskel på NO_x -kurven ved høje hastigheder for den største motorstørrelse. Grunden til forskellen skal findes i de tyske og schweiziske bilers bedre vedligeholdelsesgrad.

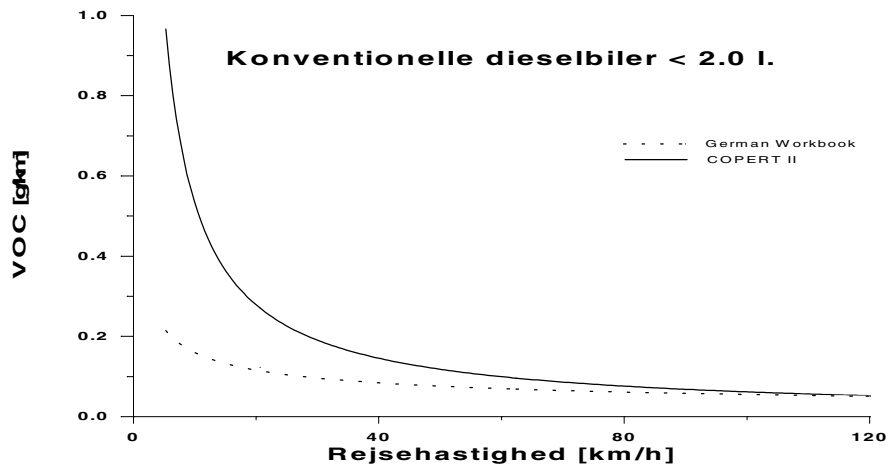
DTU modellens CO-faktorer ligger højere end COPERT-kurven ved moderate byhastigheder og ved de højeste hastigheder, mens modellens VOC- og partikelkurver er næsten sammenfaldende med hhv. WB og COPERT. For NO_x er DTU modellens faktorer højest af alle ved de lave hastigheder, men falder til det laveste niveau i hastighedsintervallet 50-90 km/h. Ved de højeste hastigheder ligger DTU-faktorerne midt imellem COPERT og WB's faktorer. Årsagen til afvigelserne skal primært søges i de få dieslbiler, der ligger til grund for DTU modellens emissionsfaktorer.



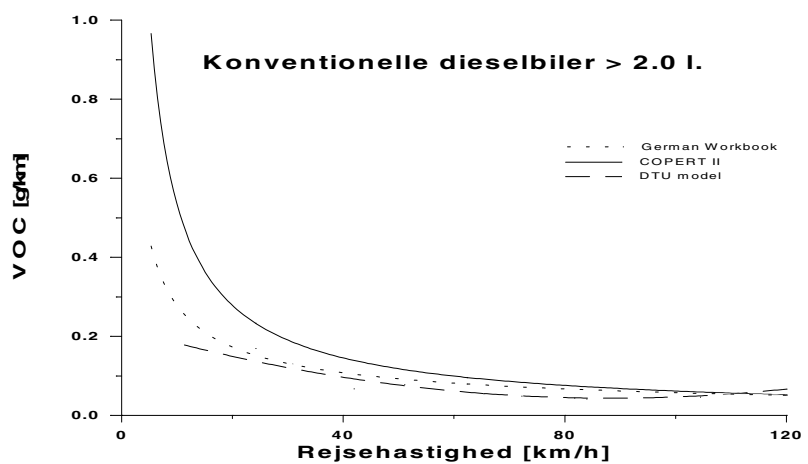
Figur 4.21 CO-emissionsfaktorer for konventionelle dieslbiler (< 2 l.) i COPERT II og WB



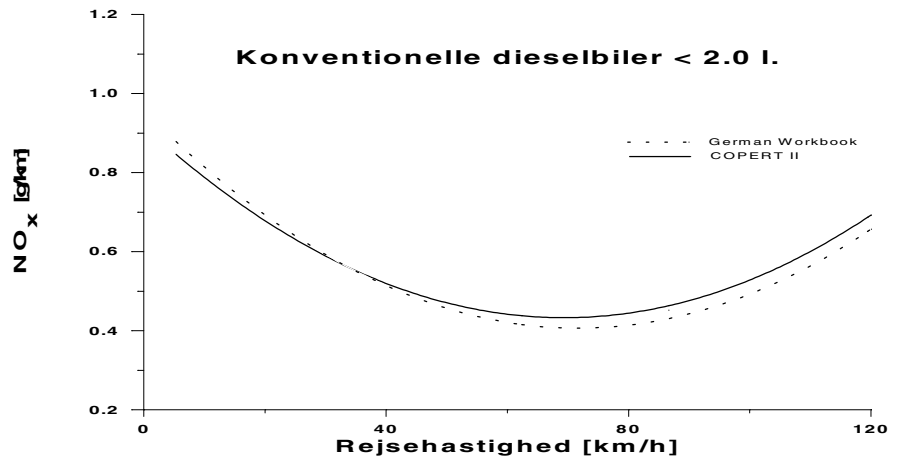
Figur 4.22 CO-emissionsfaktorer for konventionelle dieselmotorer (> 2 l.) i COPERT II, WB og DTU



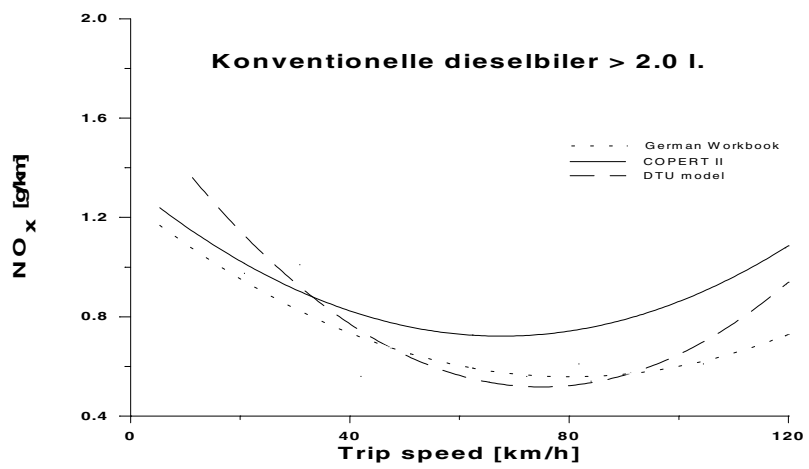
Figur 4.23 VOC-emissionsfaktorer for konventionelle dieselmotorer (< 2 l.) i COPERT II og WB



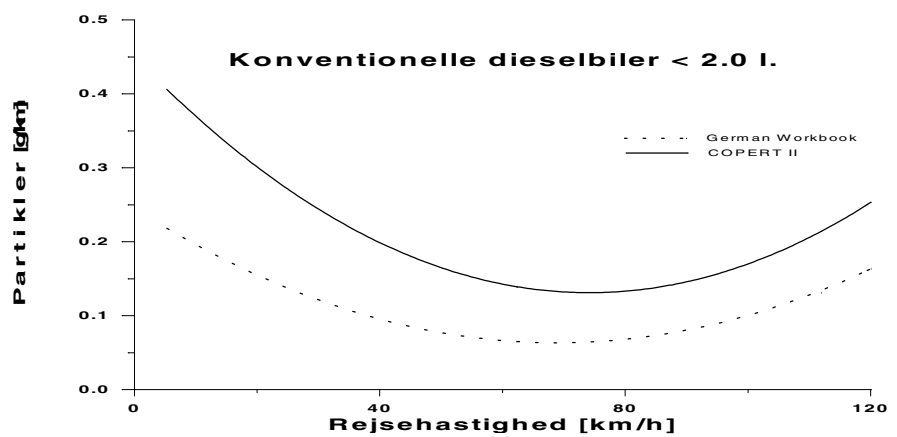
Figur 4.24 VOC-emissionsfaktorer for konventionelle dieselmotorer (> 2 l.) i COPERT II, WB og DTU



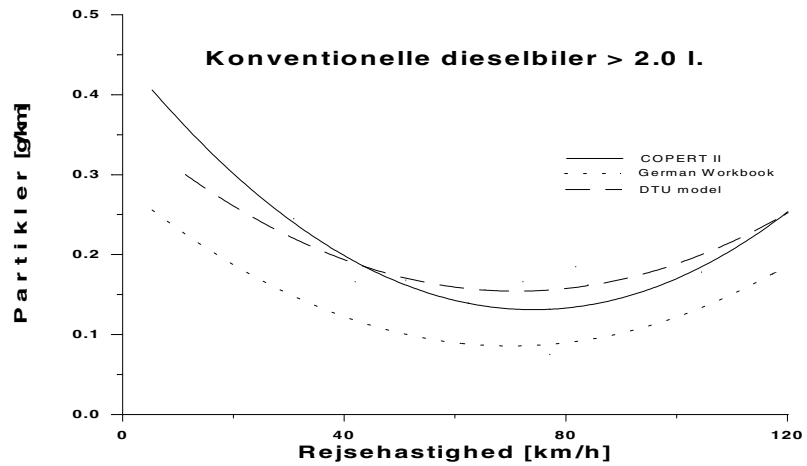
Figur 4.25 NO_x-emissionsfaktorer for konventionelle dieselmotorer (< 2 l.) i COPERT II og WB



Figur 4.26 NO_x-emissionsfaktorer for konventionelle dieselmotorer (> 2 l.) i COPERT II, WB og DTU



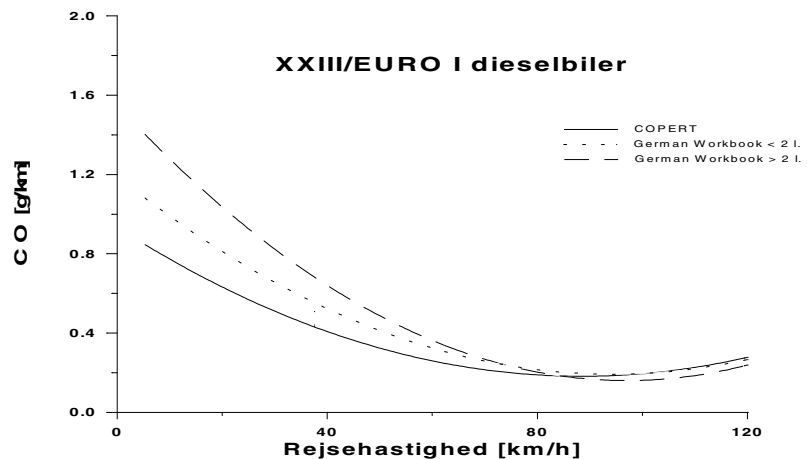
Figur 4.27 Partikelemissionsfaktorer for konventionelle dieselmotorer (< 2 l.) i COPERT II og WB



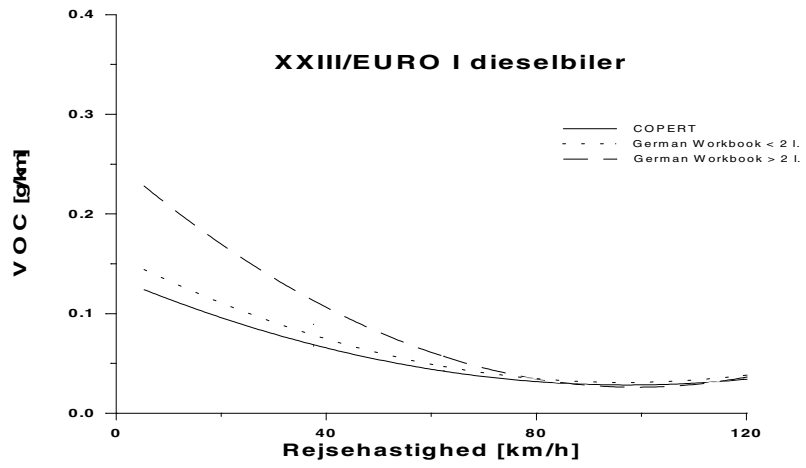
Figur 4.28 Partikelemissionsfaktorer for konventionelle dieselmotorer (> 2 l.) i COPERT II, WB og DTU

På figurerne 4.29-4.32 er emissionsfaktorerne indtegnet for WB's XXIII dieselmotorer og COPERT's EURO I dieselmotorer. I målingerne bag COPERT kan der ikke skelnes mellem motorstørrelser under og over 2 liter. Ved rejsehastigheder frem til omtrent 80 km/h eller lidt højere ligger COPERT-kurven lavere end begge WB-kurver for alle fire emissionstyper. For de største rejsehastigheder er kurverne pænt sammenfaldende, dog stiger COPERT's NO_x -kurve mere stejlt end kurverne for begge WB's motorstørrelser.

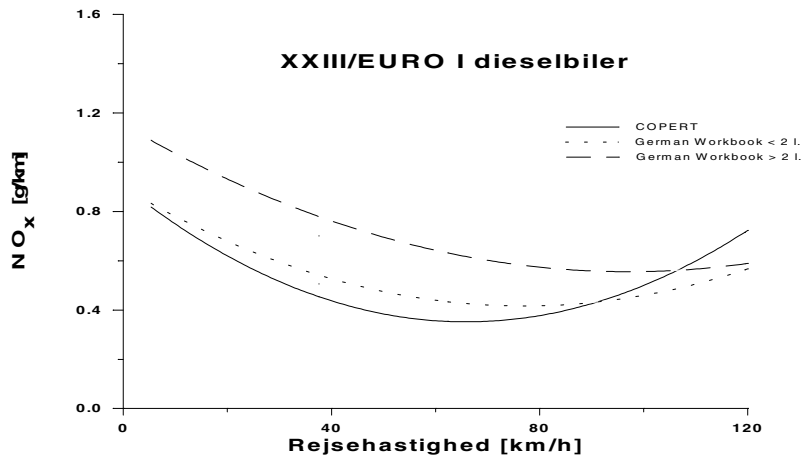
Det næsten overalt lavere COPERT-niveau må delvis skyldes, at EURO I bilerne, der fremkom i starten af 1990'erne, er af lidt nyere årgang end XXIII bilerne. De tyske XXIII biler blev allerede indført i Tyskland i slutningen af 1980'erne, og deres emissioner minder meget om emissionerne fra 1986-1988 bilerne. En anden grund til forskellene mellem COPERT- og WB-kurverne kan være det lille antal testbiler bag WB's emissionskurver.



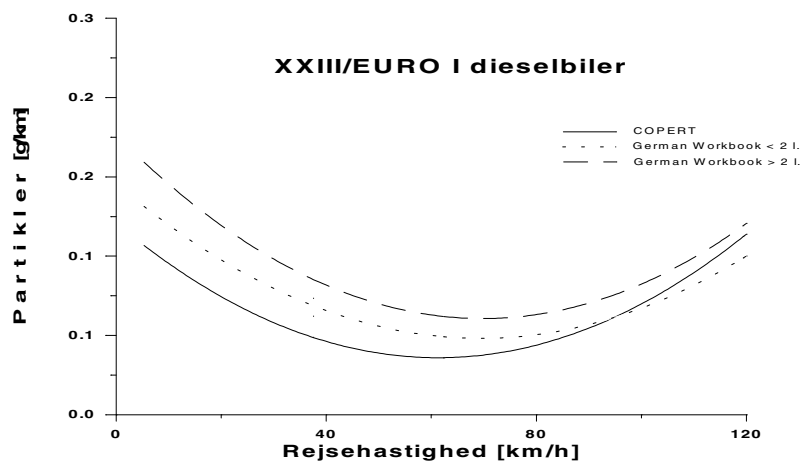
Figur 4.29 CO-emissionsfaktorer for EURO I og XXIII dieselmotorer i COPERT II og WB



Figur 4.30 VOC-emissionsfaktorer for EURO I og XXIII diesebiler i COPERT II og WB



Figur 4.31 NO_x-emissionsfaktorer for EURO I og XXIII diesebiler i COPERT II og WB



Figur 4.32 Partikelemissionsfaktorer for EURO I og XXIII diesebiler i COPERT II og WB

4.3.4 Diskussion af emissionsberegninger

På baggrund af analysen i forrige afsnit kan det konstateres, at der stadig er en betydelig usikkerhed på valget af gennemsnitlige emissionsfaktorer. Størst er usikkerheden på bestemmelsen af NO_x-emissionerne. For VOC- og CO-emissionerne er usikkerheden stor ved helt lave rejsehastigheder og hastigheder over 100 km/h. Da disse hastigheder kun bruges af en beskedent del af den danske trafik, har deres usikkerhed på emissionen mindre betydning for beregningen af trafikens samlede emissioner.

Effekten på totalemissionsberegninger, når de fire modeller bruges, kan vises i en beregningssituation. Eksemplet omfatter den danske bestand af ECE 15/04 biler og katalysatorbiler med motorstørrelser mellem 1,4 og 2 liter.

I tabellerne 4.7-4.9 er CO-, VOC- og NO_x-emissionsfaktorerne opstillet for de fire modeller ved typiske by-, land- og motorvejshastigheder. Emissionsfaktorerne er beregnet ved at bruge de matematiske funktioner, der danner basis for de netop viste kurver.

Tabel 4.7 CO-emissionsfaktorer for 1,4-2 l. ECE 15/04 biler og katalysatorbiler

Kategori	Hastighed [km/h]	DTU-høj [g/km]	DTU-lav [g/km]	Winther [g/km]	COPERT II [g/km]	WB [g/km]
ECE 15/04	40	16,99	16,99	8,17	9,23	9,02
	70	10,94	10,94	5,74	4,96	5,75
	100	11,28	11,28	4,58	4,15	7,49
Katalysator	40	1,43	1,43	1,80	1,07	1,43
	70	0,74	0,74	0,88	1,00	1,10
	100	1,99	1,11	0,55	3,46	1,56

Tabel 4.8 VOC-emissionsfaktorer for 1,4-2 l. ECE 15/04 og katalysatorbiler

Kategori	Hastighed [km/h]	DTU-høj [g/km]	DTU-lav [g/km]	Winther [g/km]	COPERT II [g/km]	WB [g/km]
ECE 15/04	40	1,65	1,65	0,94	1,43	1,57
	70	0,99	0,99	0,58	0,90	0,93
	100	0,88	0,88	0,43	0,70	0,80
Katalysator	40	0,12	0,12	0,12	0,15	0,11
	70	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07
	100	0,09	0,07	0,04	0,10	0,06

Tabel 4.9 NO_x-emissionsfaktorer 1,4-2 l. for ECE 15/04 biler og katalysatorbiler

Kategori	Hastighed [km/h]	DTU-høj [g/km]	DTU-lav [g/km]	Winther [g/km]	COPERT II [g/km]	WB [g/km]
ECE 15/04	40	2,33	2,33	1,22	2,12	1,77
	70	2,32	2,32	1,17	2,76	2,24
	100	2,83	2,83	1,49	3,52	3,10
Katalysator	40	0,27	0,27	0,14	0,30	0,25
	70	0,19	0,19	0,11	0,27	0,31
	100	0,40	0,18	0,09	0,43	0,49

Oplysninger fra Vejdirektoratets årskørselsundersøgelse og 60-punkttællinger bruges til at fordele årskørslen ud på vejtyper for de to køretøjskategorier, se tabel 4.10. Produktet af årskørslen og antallet af køretøjer giver de samlede varmstartsemissioner, der vises i tabellerne 4.11-4.13.

Tabel 4.10 Bestand og kørsel for 1,4-2 l. ECE 15/04 biler og katalysatorbiler i Danmark i 1996

Kategori	Antal køretøjer	Hastighed [km/h]	Kørsel [%]	Kørsel [km/år]
ECE 15/04		40	35	6.336
		70	46	8.328
		100	19	3.440
Total	172.298		100	18.104
Katalysator		40	35	8.344
		70	46	10.967
		100	19	4.530
Total	322.960		100	23.841

Tabel 4.11 CO-varmemissioner fra 1,4-2 l. ECE 15/04 biler og katalysatorbiler

Kategori	Hastighed [km/h]	DTU-høj [ktons]	DTU-lav [ktons]	Winther [ktons]	COPERT II [ktons]	WB [ktons]
ECE 15/04	40	18,5	18,5	8,9	10,1	9,8
	70	15,7	15,7	8,2	7,1	8,3
	100	6,7	6,7	2,7	2,5	4,4
Total		40,9	40,9	19,9	19,6	22,5
Katalysator	40	3,9	3,9	4,9	2,9	3,8
	70	2,6	2,6	3,1	3,6	3,9
	100	2,9	1,6	0,8	5,1	2,3
Total		9,4	8,1	8,8	11,5	10,0
Grand total		50,3	49,0	28,6	31,1	32,6

Tabel 4.12 VOC-varmemissioner fra 1,4-2 l. ECE 15/04 biler og katalysatorbiler

Kategori	Hastighed [km/h]	DTU-høj [ktons]	DTU-lav [ktons]	Winther [ktons]	COPERT II [ktons]	WB [ktons]
ECE 15/04	40	1,80	1,80	1,03	1,56	1,71
	70	1,42	1,42	0,83	1,28	1,34
	100	0,52	0,52	0,25	0,41	0,47
Total		3,74	3,74	2,12	3,25	3,52
Katalysator	40	0,31	0,31	0,31	0,40	0,30
	70	0,26	0,26	0,22	0,21	0,23
	100	0,13	0,10	0,06	0,14	0,08
Total		0,70	0,67	0,60	0,75	0,61
Grand total		4,45	4,41	2,71	4,01	4,14

Tabel 4.13 NO_x-varmemissioner fra 1,4-2 l. ECE 15/04 biler og katalysatorbiler

Kategori	Hastighed [km/h]	DTU-høj [ktons]	DTU-lav [ktons]	Winther [ktons]	COPERT II [ktons]	WB [ktons]
ECE 15/04	40	2,54	2,54	1,33	2,32	1,93
	70	3,33	3,33	1,67	3,96	3,22
	100	1,68	1,68	0,88	2,09	1,83
Total		7,55	7,55	3,88	8,36	6,98
Katalysator	40	0,72	0,72	0,38	0,80	0,68
	70	0,69	0,69	0,39	0,97	1,11
	100	0,59	0,26	0,14	0,63	0,72
Total		2,00	1,67	0,91	2,39	2,51
Grand total		9,55	9,23	4,79	10,76	9,49

Der er kun en lille forskel mellem varmstartsemissionerne beregnet med COPERT og Workbook. For CO og VOC er forskellen således knap 5%. For NO_x er forskellen lidt større, knap 10%. Derimod er der større forskelle til DTU modellen og de danske målinger.

DTU modellens store CO-emissioner skyldes de høje emissionsfaktorer for ECE 15/04 biler. De beregnede emissioner er mellem 50 og 75% højere end beregnet med de danske faktorer, COPERT II og Workbook. Disse tre modeller viser en god overensstemmelse for CO. Forskellene i DTU modellens CO-emissionsfaktorer for katalysatorbiler ved høje hastigheder påvirker også emissionsresultatet på motorvej. Forskellene jævnes dog noget ud, når emissionerne for alle tre vejtyper summeres op.

Emissionen af VOC og NO_x er på omtrent samme niveau for DTU modellen, COPERT II og Workbook. Når de målte danske emissionsfaktorer bruges, bliver totalemissionerne noget lavere. Forskellen bliver omtrent 40 og 50% for hhv. VOC og NO_x.

Generelt viser beregningseksemplet, at på trods af visse forskelle i beregningsresultaterne ligger WB og COPERT emissionerne på samme niveau for typiske biler og gennemsnitshastigheder. Når modellerne er store nok, bliver rejsehastigheden altså en god parameter at bruge for moderate hastigheder. Dette gælder i situationen, hvor totalemissionen skal beregnes uden kendskab til de præcise køremønstre, jf. diskussionen i afsnit 2.2.

Ved meget lave hastigheder (typisk for køkørsel) og meget høje hastigheder bliver forskellene større mellem modeller. I disse beregningssituationer er det vigtigt at undersøge hvilke køremønstre, testbiler og simuleringsprincipper, der ligger bag modellernes emissionsfaktorer. Forudsætningerne for de målte eller simulerede emissioner skal passe så præcist som muligt til den aktuelle trafiksituation.

Skal emissionerne yderligere beregnes for atypiske køremønstre og biler, kan rejsehastighedsafhængige emissionsfaktorer ikke bruges. I stedet skal emissionen måles for køremønstret eller simuleres med en model. Videre skal det, jf. diskussionen i afsnit 3.2, nøje overvejes, i hvor stor en udstrækning de målte eller simulerede emissioner gælder for en konkret gadeberegning.

4.4 Emissionsfaktorer for rejsehastigheder contra trafiksituationer

I afsnit 2.2 diskuteredes brugen af modeller til forskellige beregningsformål. Emissionsmodeller hører til på et makroniveau, hvis de skal bruges til beregninger af totalemissioner og -prognoser samt luftkvalitet. Skal beregningerne gennemføres på gadeniveau, bør mikromodeller bruges.

For det enkelte beregningsformål på enten mikro- eller makroniveau er det også nødvendigt at være kritisk i valget af emissionsfaktorer. I forrige afsnit er der redegjort for, at forskellige emissionsmodeller i visse tilfælde anviser forskellige emissionsfaktorer ved samme rejsehastigheder. Emissionsfaktorerne afhænger af testbilernes antal og stand, forsøgsopstillingen, de anvendte køremønstre samt den videre behandling af de opsamlede måledata.

Benyttes mikromodeller på et makroniveau, kan beregningerne give store systematiske fejl i det samlede resultat, jf. diskussionen i afsnit 2.2 om gadeemissionsberegninger. Fejlen opstår, hvis små systematiske fejl er til stede i hver delberegning. Gennem mange summationer kan slutfejlen blive større, end fejlen begået ved at bruge mere generelle tal i de enkelte delberegninger.

Intentionen med WB er, at modellen skal kunne bruges både på et makroniveau ved totalemissions- og prognoseberegninger samt på et mikroniveau. For at kunne estimere emissionerne på mikroniveau simuleres emissionsfaktorerne for trafiksituationer i modellen. Metoden er altså som udgangspunkt forskellig fra fremgangsmåden i modeller, der bruger rejsehastigheden som den afgørende parameter ved valget af emissionsfaktorer.

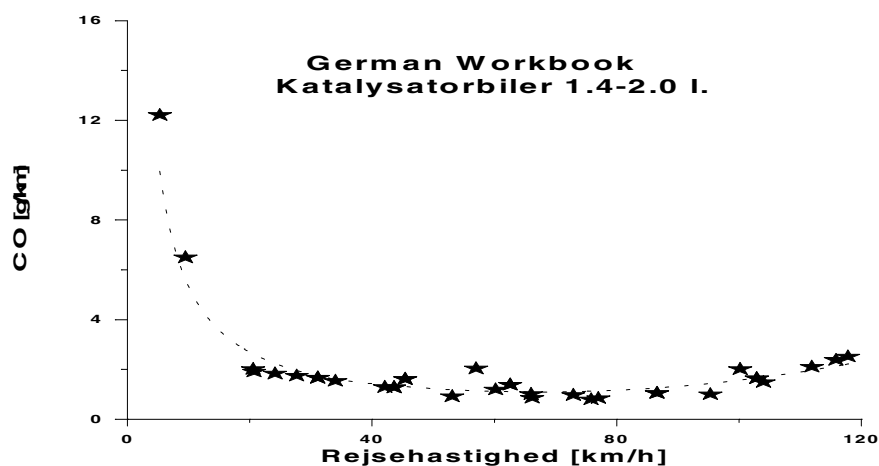
Hver enkelt trafiksituation i WB er fastlagt ved procentdelene af de køremønstre, der menes at indgå i trafiksituationen. Dannelsen af emissionsfaktoren for trafiksituationen sker ved først at beregne emissionsfaktorer for køremønstre opsamlet i trafikken. Næste trin er at lade køremønstrenes emissionsfaktorer indgå med den vægt i emissionsfaktoren for trafiksituationen, som køremønstrene vægtes i trafiksituationen.

På figur 4.33-4.35 er WB's CO-, VOC- og NO_x-emissionsfaktorer for katalysatorbiler med motorstørrelser mellem 1,4 og 2 liter vist for hovedparten af trafiksituationerne, der indgår i modellen. Den tilnærmede kurve, der også er vist på figurerne 4.13, 4.16 og 4.19, er samtidigt indtegnet.

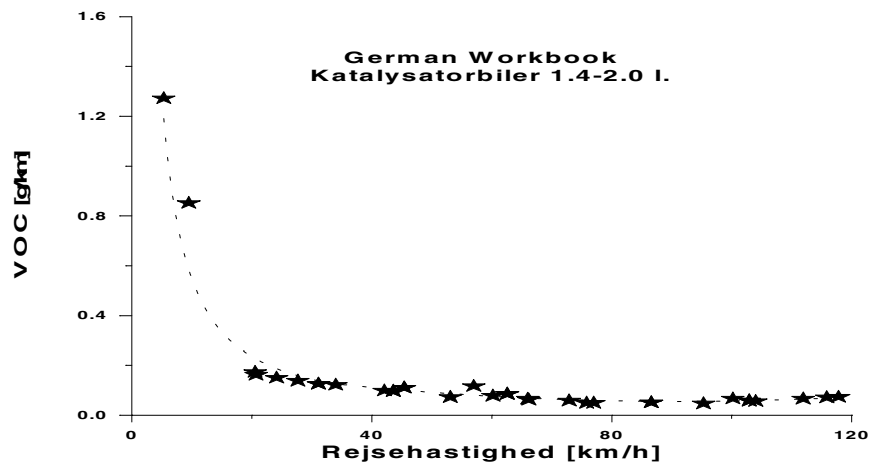
For CO og VOC ligger emissionsfaktorerne for trafiksituationerne med enkelte undtagelser tæt på den tilnærmede kurve. Emissionsfaktorerne for NO_x er derimod mere spredt beliggende i forhold til den tilnærmede kurve. Dette vides at være almindeligt forekommende for denne emissionskomponent.

På alle figurer ses emissionsfaktoren ved trafiksituationen med 58 km/h at afvige relativt meget fra den tilnærmede kurve. Trafiksituationen gælder for bykørsel og beskrives både som kørsel på gennemfartsvej uden forstyrrelser og kørsel på hovedfærdselsåre med få forstyrrelser, jf. tabel 4.3 i afsnit 4.2.2. Det bagvedliggende køremønster (køremønster nr. 7, jf. tabel 4.1 i afsnit 4.2.2) giver åbenbart store emissioner ved gennemkørsel for alle tre komponenter.

De gennemsnitlige kurvers forløb i forhold til de enkelte emissionsfaktorer gentager sig for de forskellige strata.



Figur 4.33 Plottede CO-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (1,4-2,0 l.) i WB



Figur 4.34 Plottede VOC-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (1,4-2,0 l.) i WB



Figur 4.35 Plottede NO_x-emissionsfaktorer for katalysatorbiler (1,4-2,0 l.) i WB

Ved totalemissionsberegninger fordeles de samlede kørte km ud på de forskellige trafiksituationer. Det samlede resultat og en "aggregeret emissionsfaktor" vil derfor nærme sig den gennemsnitlige kurve. Anstrengelserne ved at indhente oplysninger om trafikens afvikling på trafiksituationer synes derfor at være for store i forhold til præcisionen af den samlede beregning. Trafiksituationerne kan ikke bestemmes præcist nok, og det samlede resultat vil alligevel gå mod et gennemsnit.

Det er derfor bedre at bruge den gennemsnitlige kurves emissionsfaktorer, hvor rejsehastigheden er parameter, og acceptere forskellen mellem den gennemsnitlige emissionsfaktor og de mange forskellige emissionsfaktorer, der dækker den virkelige trafik.

Til beregninger på et mikroniveau kan det være relevant at benytte beregninger ud fra trafiksituationer. Selv om trafiksituationerne gælder for tyske og schweiziske forhold, kan de overordnet set også bruges for den danske trafik. I denne situation skal den danske stratasammensætning i trafiksituationen bestemmes ved beregning af totalemissioner eller aggregerede emissionsfaktorer. WB's stratasam-

mensætning kan ikke bruges, da den ikke gælder for den danske trafik.

5 Emissioner for koldstart

Den største del af de samlede emissioner for vejtrafikken stammer fra kørslen, når motoren er varm. Emissionerne for koldstart, der især kommer fra benzinpersonbiler, er dog også betragtelige. Den relative andel af disse vil være stigende i takt med at benzinpersonbiler (og varebiler) med katalysatorer gradvist afløser de konventionelle benzinkøretøjer. Katalysatoren nedbringer de varme emissioner væsentligt, men virker ikke før den (og motoren) er varm. Det er vigtigt at beskrive de ekstra emissioner ved koldstart udførligt. Når området er analyseret tilstrækkeligt, kan der peges på områder, hvor det er mest miljømæssigt effektivt at gribe ind.

Også fordampning af kulbrinter opstår for benzinbiler. Emissionerne kommer både ved kørsel, og når bilen ikke bliver brugt. Emissionerne er dog ikke store i absolutte mængder og den relative andel formindskes gradvist i takt med, at nye køretøjer med forbedrede fordampningsbegrænsende teknologier indføres. Fordampningsemissionerne er derfor ikke nærmere analyseret i denne rapport.

I dette kapitel vil overemissionerne fra koldstart blive analyseret i detaljer. Der lægges specielt vægt på resultaterne for måleprogrammet bag WB. Overemissionerne fra WB og COPERT II vil blive beregnet for et TU datasæt (Transportvaneundersøgelsen) ud fra de respektive modelforudsætninger. Forskelle i resultaterne kan belyse følsomheden af at anvende forskellige modeller i konkrete emissionsberegninger.

5.1 Analyse af koldstartstillæg i WB

I afsnit 3.2 er metoden til beregning af koldstartsemissioner gennemgået. Udtrykket (12), der gengives nedenfor, angiver overemissionen af en given emissionskomponent, når strækningen S er gennemkørt.

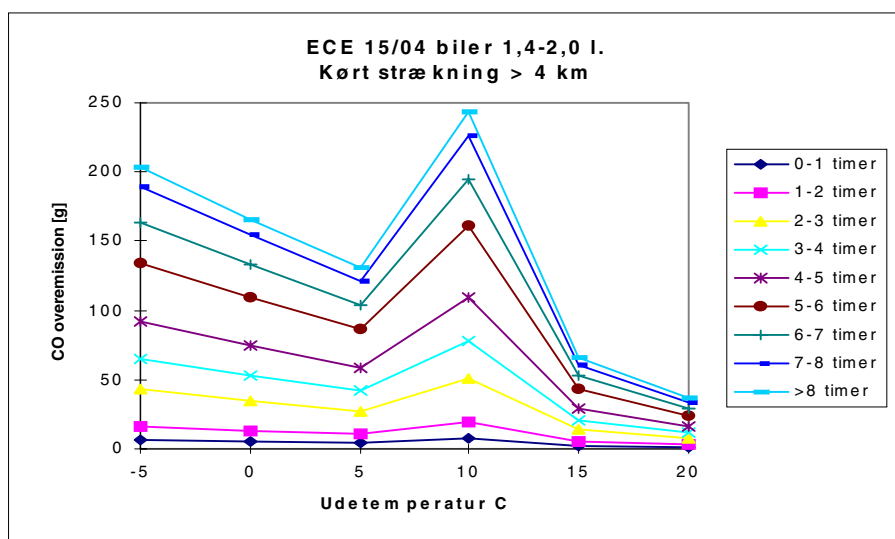
$$\Delta E_{K,S,T} = (EF_W / (E_W / S_W)_{US3}) \cdot (E_{K,S,T} - E_{W,S})_{US} \quad (12)$$

I ligningen angiver EF_W en varm emissionsfaktor i g/km for et køremønster, hvis koldstartstillæg ønskes beregnet. Koldstartstillægget efter en given kørt strækning, $E_{K,S,T}$ beregnes ved at multiplicere emissionsforskellen mellem kold og varm motor fra US testen, med strataemissionsfaktoren normeret med US fase 3 varmstartemissionsfaktoren $(E_W/S_W)_{US3}$.

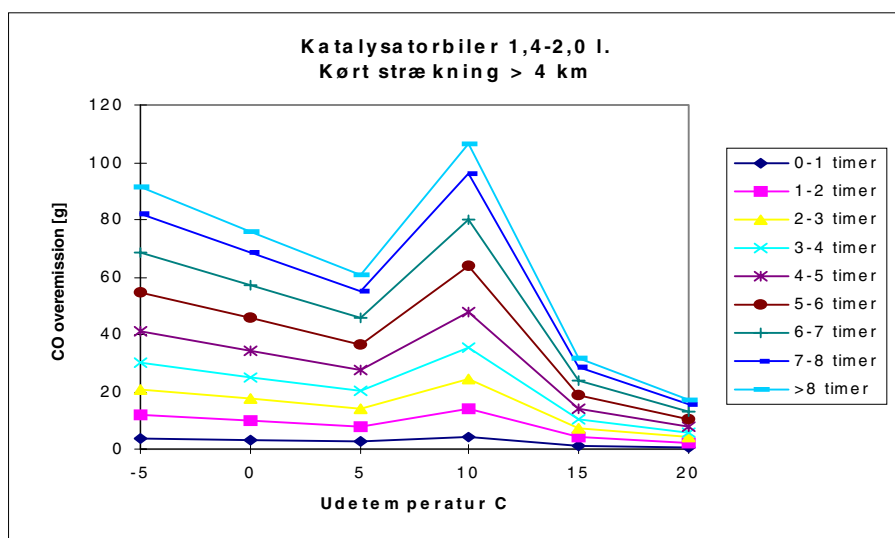
Til analysen bruges som køremønster et bykøremønster med en rejsehastighed på 37,2 km/h, der kan vælges i WB. I WB er det muligt for alle strata at beregne overemissionen af CO, VOC, NO_x, partikler, CO₂, SO₂ og energiforbruget for personbiler og varebiler ved ude-temperaturerne -10, -5, 0, 5, 10, 15 og 20°C. Overemissionen beregnes som den ialt opsamlede overemission, når køretøjet har kørt 1, 2, 3, 4 km og frem til bilen er helt varm efter at have kørt over 4 km. Beregningerne gentages for holdetider på 0-1 timer, 1-2 timer osv. frem til en holdetid på over 8 timer.

I dette afsnit vises overemissionerne af CO, VOC og NO_x for ECE 15/04 biler og katalysatorbiler med motorstørrelserne 1,4-2 liter på figurer. Ved gennemgangen af overemissionerne vil afhængigheden af holdetider, den kørte strækning og udetemperaturen blive analyseret i detaljer. Det brugte køremønsters varmemission efter 5 km's kørsel er også beregnet og angives under hver figur til sammenligning.

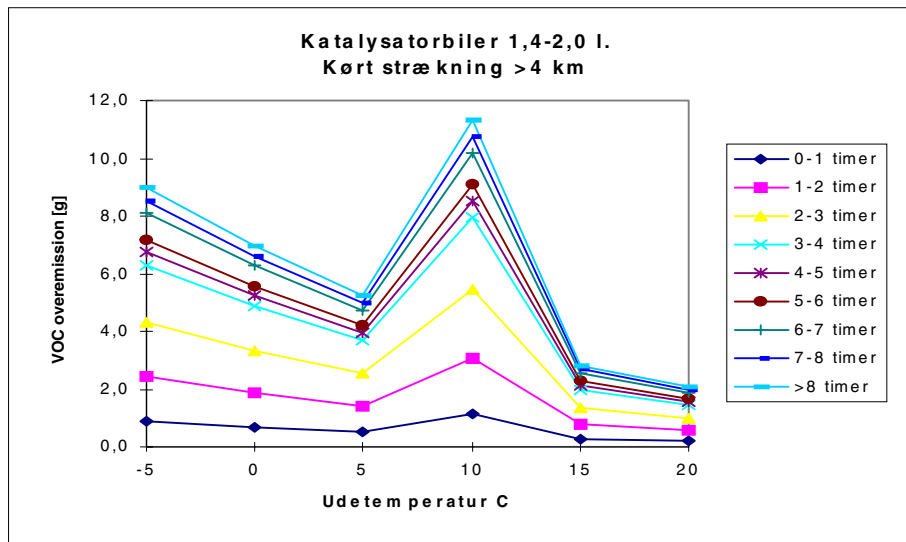
Figur 5.1-5.2 og 5.3-5.4 viser hhv. CO og VOC overemissionen for hele koldstarten ved udetemperaturer fra -5 til 20°C for ECE 15/04 biler og katalysatorbiler.



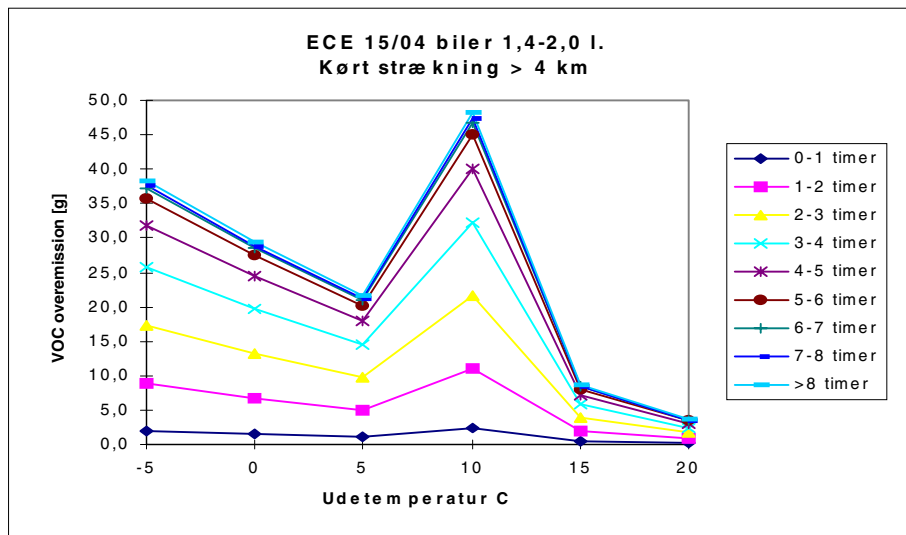
Figur 5.1 Overemission afhængig af udetemperatur efter forskellige holdetider for ECE 15/04 biler (fuld varmemission efter 5 km = 50,3 g)



Figur 5.2 CO-overemission afhængig af udetemperatur efter forskellige holdetider for katalysatorbiler (fuld varmemission efter 5 km = 5,0 g)



Figur 5.3 VOC-overemission afhængig af udetemperatur efter forskellige holdetider for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 9,1 g)



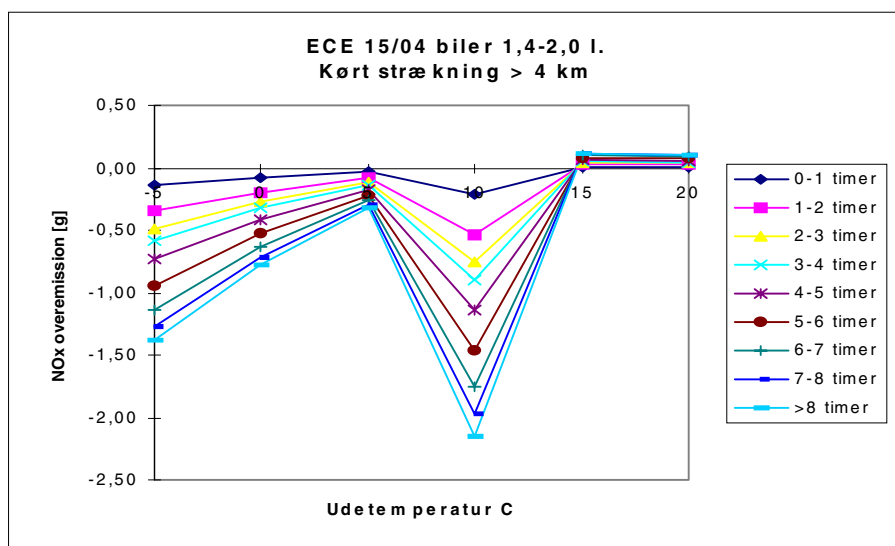
Figur 5.4 VOC-overemission afhængig af udetemperatur efter forskellige holdetider for katalysatorbiler (fuld varmmission efter 5 km = 0,5 g)

Det ses på alle fire figurer, at WB beregner overemissionerne forkert ved temperaturen 10°C. Det normale forløb for overemissionen vil være et fald med stigende temperaturer. En kontrol har vist, at de beregnede overemissioner ved 10°C er identiske med overemissionerne ved -10°C.

Generelt har holdetiden en stor betydning for overemissionen. For VOC har især stigningen i holdetider fra 1 til 4 timer betydning. I CO's tilfælde sker der en væsentlig stigning i overemissionen for holdetider helt op til 7 timer. Ved de korte holdetider under 1 time er koldstartstillægget beskedent.

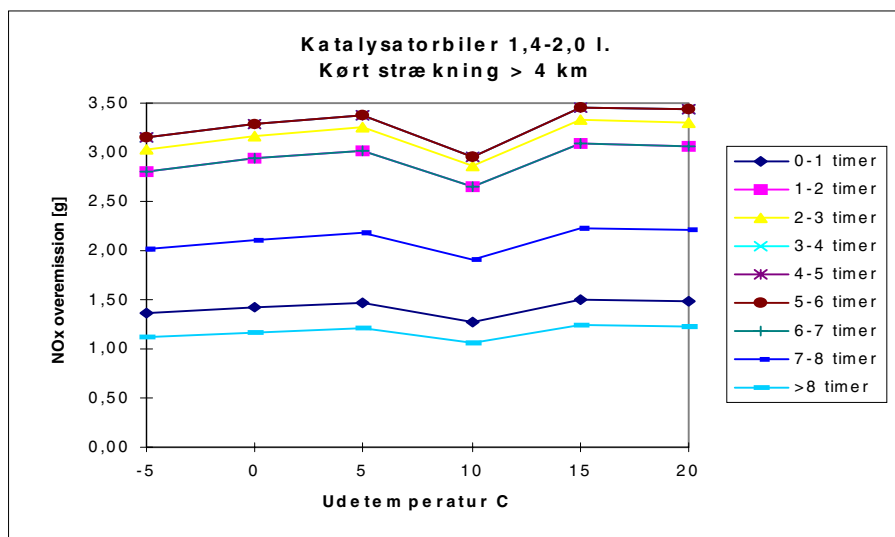
De samme figurer for NO_x er optegnet på figur 5.5-5.6. Overemissionen for NO_x er i forhold til CO og VOC specielt karakteriseret ved negative overemissioner for benzinbiler uden katalysatorer. Forteg-

net betyder, at der emitteres mindre NO_x , når motoren er kold, end i den varme situation. Også for NO_x ses fejlen ved 10°C .



Figur 5.5 NO_x -overemission afhængig af udetemperatur efter forskellige holdetider for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 8,3 g)

For ECE 15/04 bilerne ses på figur 5.5, at jo længere tid bilen holder stille, jo mindre emission skabes ved samme udetemperatur. Emissionen stiger, når udetemperaturen øges frem til 15°C , hvor der er en positiv overemission. Fra 15 til 20°C registreres et lille fald i overemissionen. Dette fald kan ikke forklares og må skyldes kurvetilpasning. Fejlen, der er opstået ved kurvetilpasningen, må betragtes som minimal.

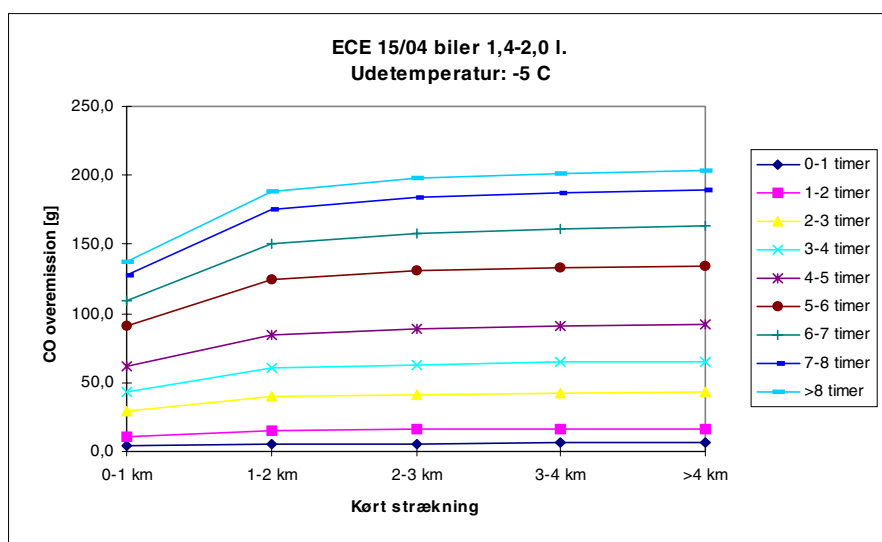


Figur 5.6 NO_x -overemission afhængig af udetemperatur efter forskellige holdetider for katalysatorbiler (fuld varmmission efter 5 km = 1,4 g)

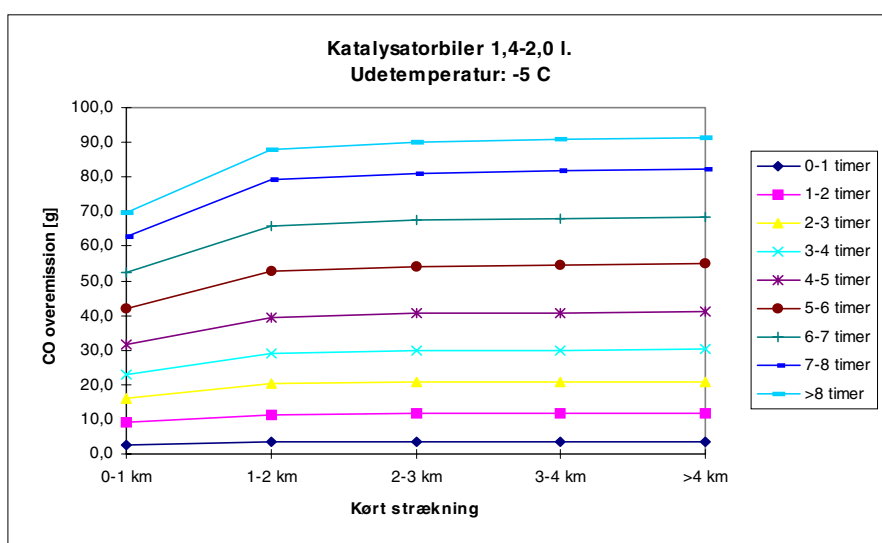
På figur 5.6 optræder fejlen ved beregningen ved 15°C og 20°C igen for katalysatorbilers NO_x -overemissioner ved en fuld koldstart. Herudover skal specielt bemærkes rækkefølgen af holdetiden for stigende overemissioner. De mindste overemissioner har biler, der har holdt stille i over 8 timer. I rækkefølge med stigende overemissioner kommer herefter holdetiderne 0-1 timer, 7-8 timer, 1-2 og 6-7 timer, der

har samme overemissioner, 2-3 timer og til sidst med de største overemissioner holdetiderne 3-4, 4-5 og 5-6 timer, der alle er ens. Grunden til den omskiftelige rækkefølge skal findes i motor- og katalysatortemperaturen. For øgede holdetider vil NO_x-overemissionen falde pga. faldet i motortemperatur, men samtidig vil katalysatorens virkningsgrad forringes og trække overemissionen op.

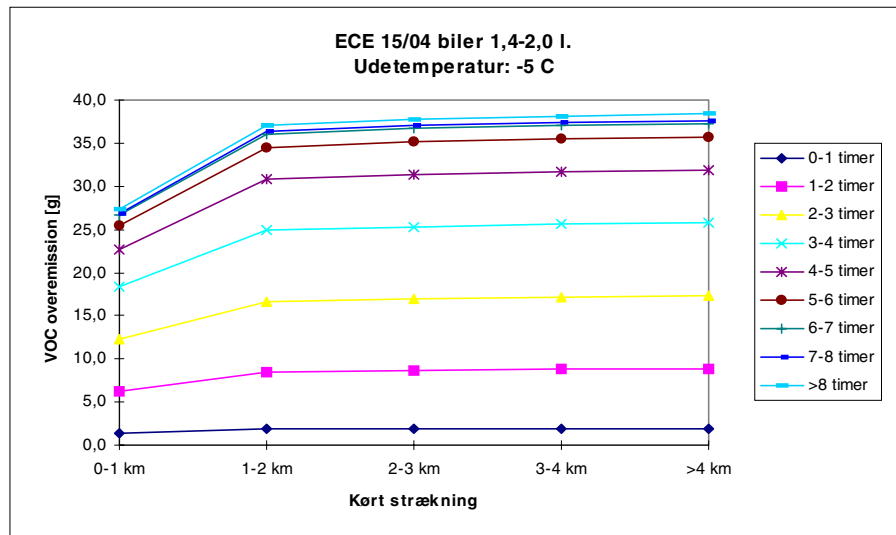
CO og VOC overemissionen ved en udetemperatur på -5°C er vist for ECE 15/04 bilerne og katalysatorbilerne på figur 5.7- 5.10 for koldstartens delintervaller. Kurverne er optegnet for de 9 forskellige holdetider. I alle fire tilfælde ses langt den største del af den samlede overemission at blive emitteret ved de første 2 km's kørsel. Overemissionen stiger også i alle fire situationer, når holdetiden stiger. Trenden i overemissionen gentager sig med en enkelt undtagelse ved alle udetemperaturer. På figur 5.11 er undtagelsen vist.



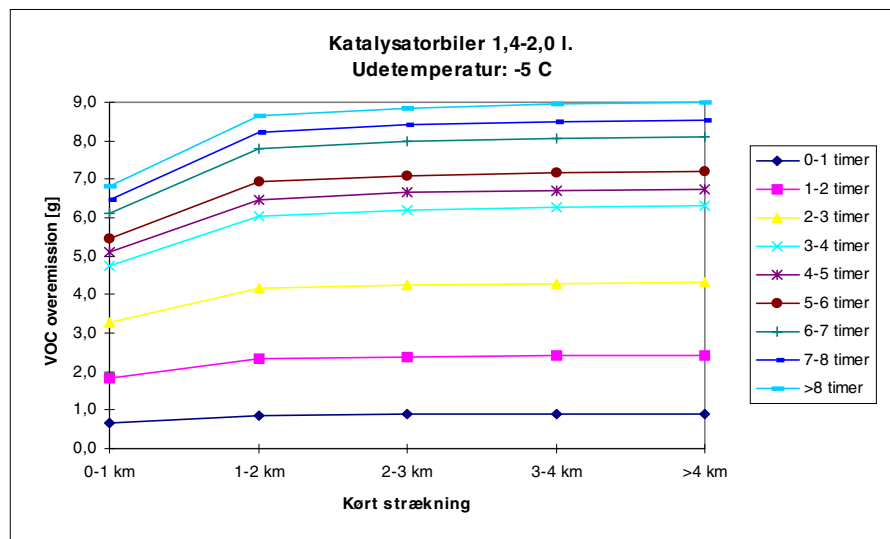
Figur 5.7 CO-overemissionen ved -5°C for den kørte strækning af koldstarten afhængig af holdetiden for ECE 15/04 biler (fuld varmemission efter 5 km = 50,3 g)



Figur 5.8 CO-overemissionen ved -5°C for den kørte strækning af koldstarten afhængig af holdetiden for katalysatorbiler (fuld varmemission efter 5 km = 5,0 g)

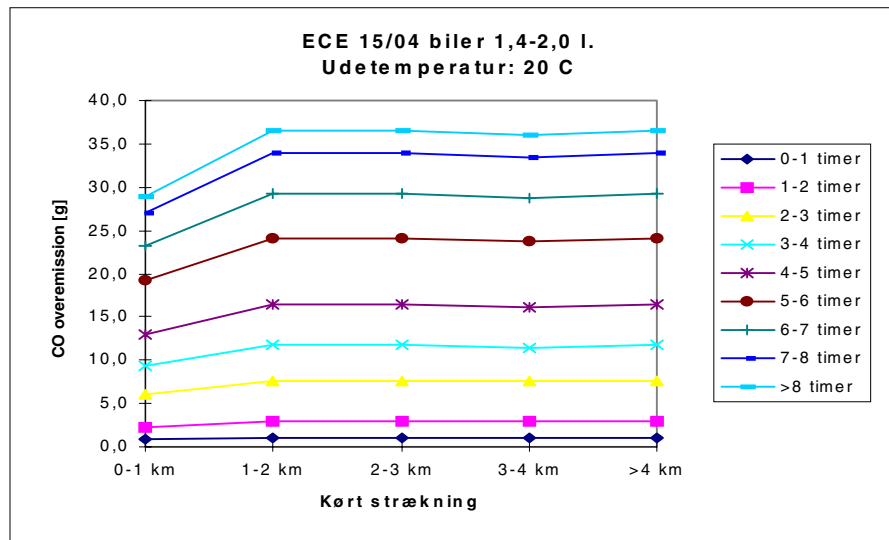


Figur 5.9 VOC-overemissionen ved -5°C for den kørte strækning af koldstarten afhængig af holdetiden for ECE 15/04 biler (fuld varmemission efter 5 km = 9,1 g)



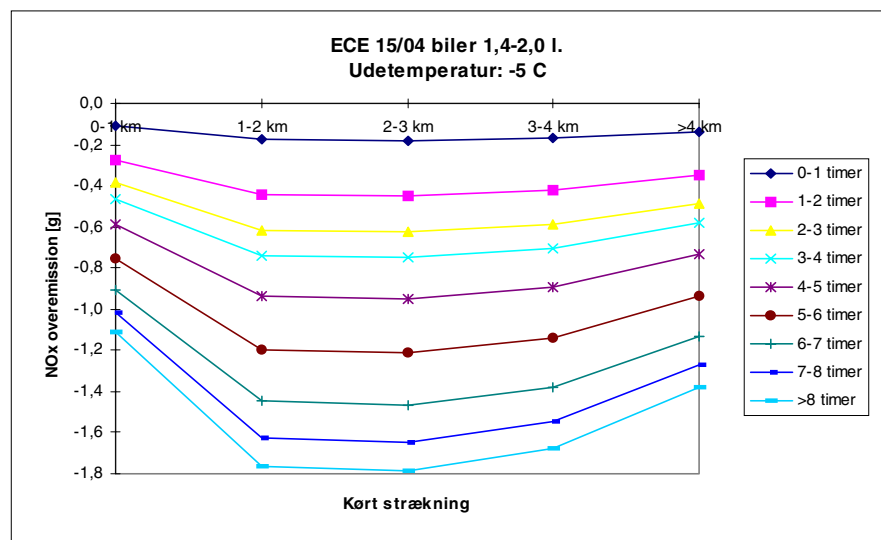
Figur 5.10 VOC-overemissionen ved -5°C for den kørte strækning af koldstarten afhængig af holdetiden for katalysatorbiler (fuld varmemission efter 5 km = 0,5 g)

Figur 5.11 viser CO-overemissionen ved en udetemperatur på 20°C for ECE 15/04 biler for koldstartens gennemkørte strækning ved forskellige holdetider. Der kan ses et fald i overemissionen ved kørslen mellem 3 og 4 km, hvorefter overemissionen stiger igen. Faldet skyldes en fejl i WB's koldstartsmodul.

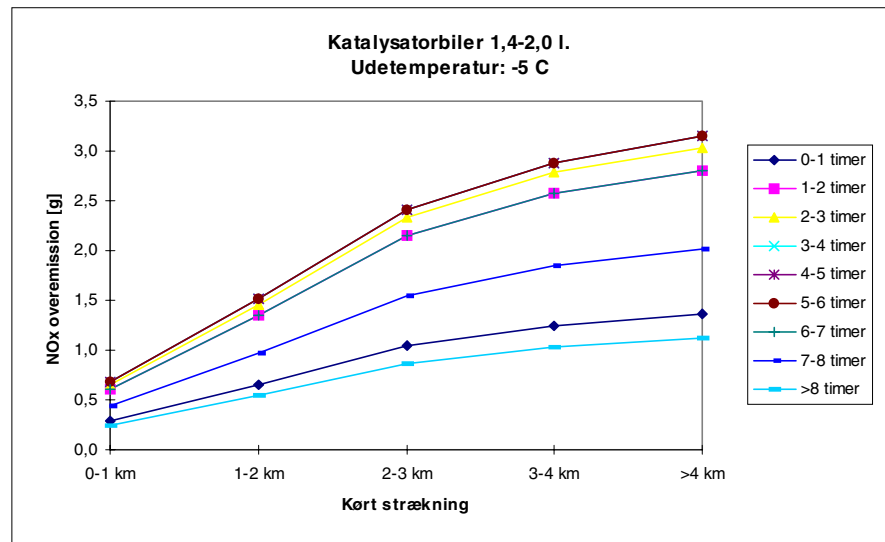


Figur 5.11 CO-overemissionen ved 20°C for den kørte strækning af koldstarten afhængig af holdetiden for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 50,3 g)

På figur 5.12 og 5.13 afbildes NO_x-overemissionen som funktion af koldstartens delstrækninger for ECE 15/04 biler og katalysatorbiler ved -5°C. Kurverne er optrukket for forskellige holdetider. For de konventionelle biler ses mere og mere negativ overemission frem til 3 km kørsel. Herefter falder overemissionen igen numerisk. Det numeriske fald skyldes en fejl i WB's koldstartsmodul, da den allerede skabte overemission ikke kan fjernes, når motoren gradvist bliver varmere.



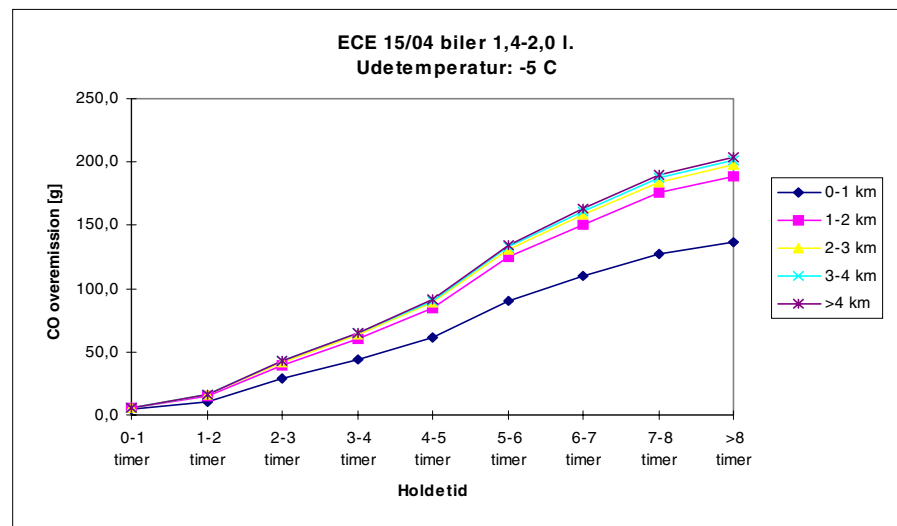
Figur 5.12 NO_x-overemissionen ved -5°C for den kørte strækning af koldstarten afhængig af holdetiden for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 8,3 g)



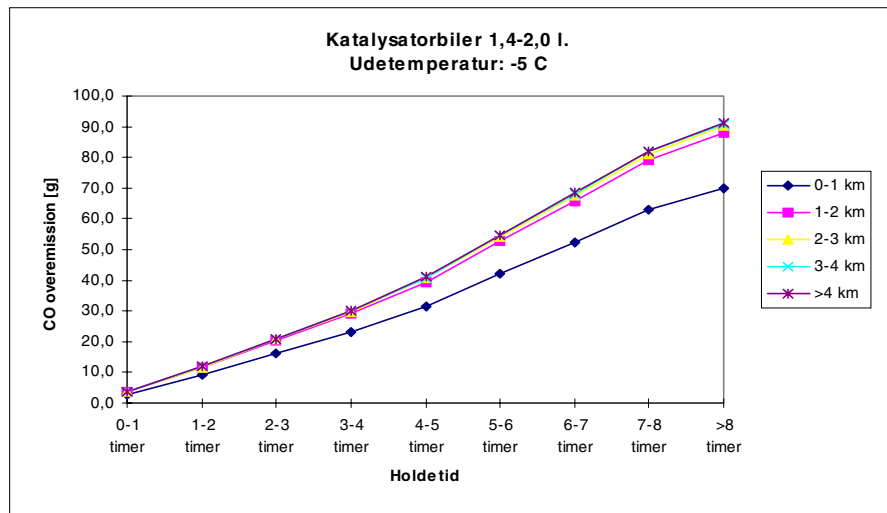
Figur 5.13 NO_x-overemissionen ved -5°C for den kørt strækning af koldstarten afhængig af holdetiden for katalysatorbiler (fuld varmemission efter 5 km = 1,4 g)

For katalysatorbiler stiger overemissionen, jo længere strækning der køres. Niveaulet på kurverne for holdetiderne afspejler igen effekten af motorens og katalysatorens faldende temperatur.

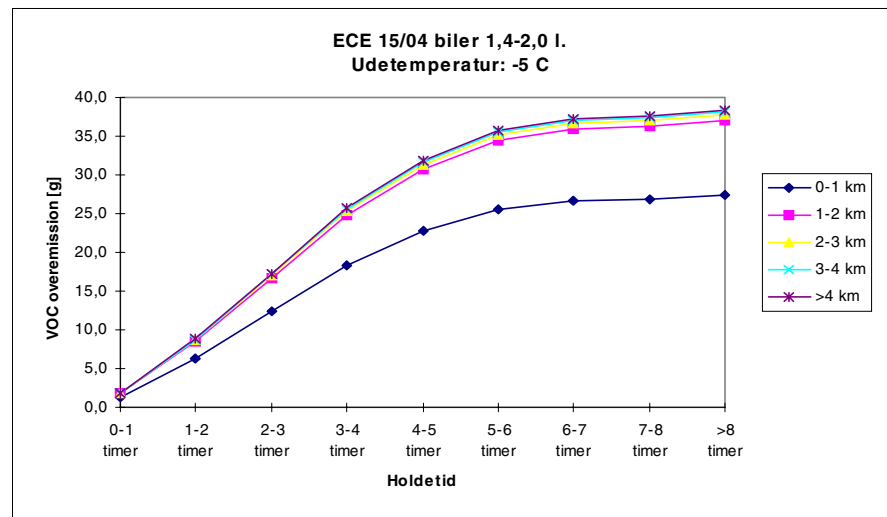
En anden afbildning af udviklingen i CO- og VOC-overemissionen ved -5°C for ECE 15/04 biler og katalysatorbiler fra figur 5.7-5.10 er vist på figurene 5.14-5.17. I stedet for at afbilde overemissionen som funktion af den kørt strækning, benyttes holdetiden som parameter. Motoren er stort set varm efter 2 km kørsel, hvor næsten al overemissionen er afgivet.



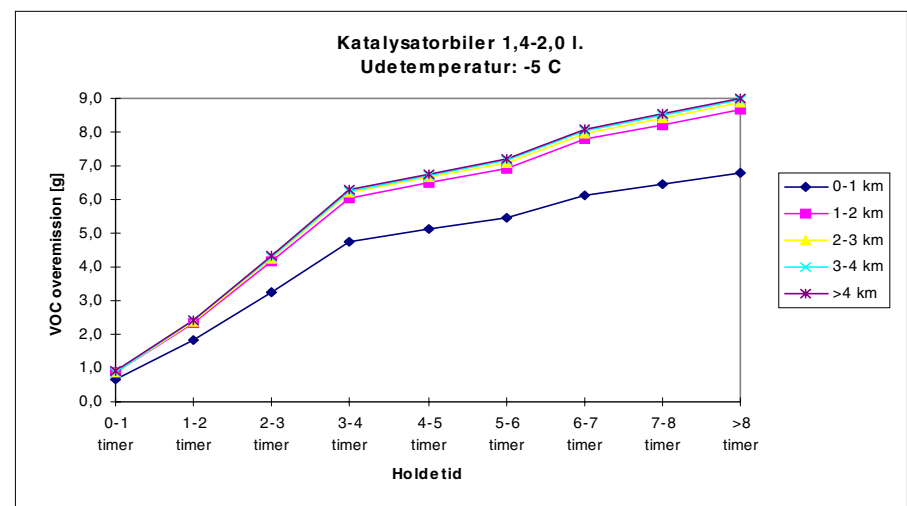
Figur 5.14 CO-overemissionen ved -5°C efter forskellige holdetider for afhængig af den kørt strækning af koldstarten for ECE 15/04 biler (fuld varmemission efter 5 km = 50,3 g)



Figur 5.15 CO-overemissionen ved -5°C efter forskellige holdetider for afhængig af den kørte strækning af koldstarten for katalysatorbiler (fuld varmemission efter 5 km = 5,0 g)

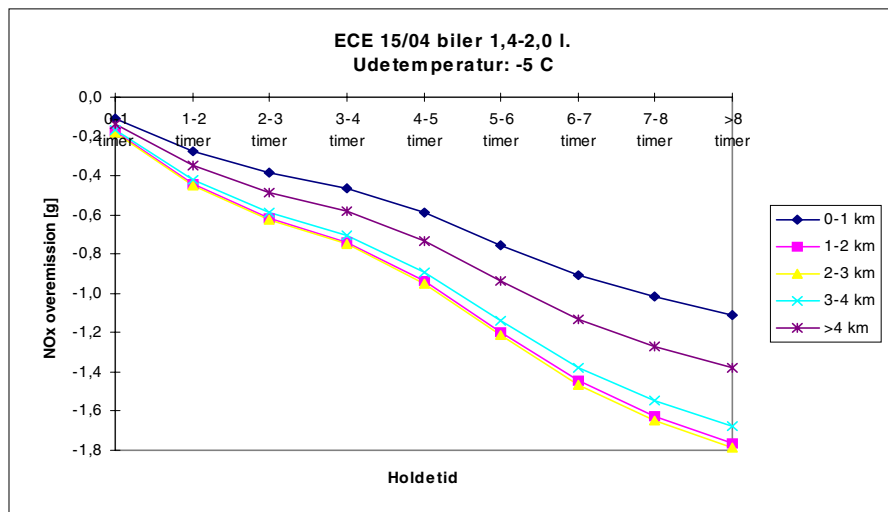


Figur 5.16 VOC-overemissionen ved -5°C efter forskellige holdetider for afhængig af den kørte strækning af koldstarten for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 9,1 g)

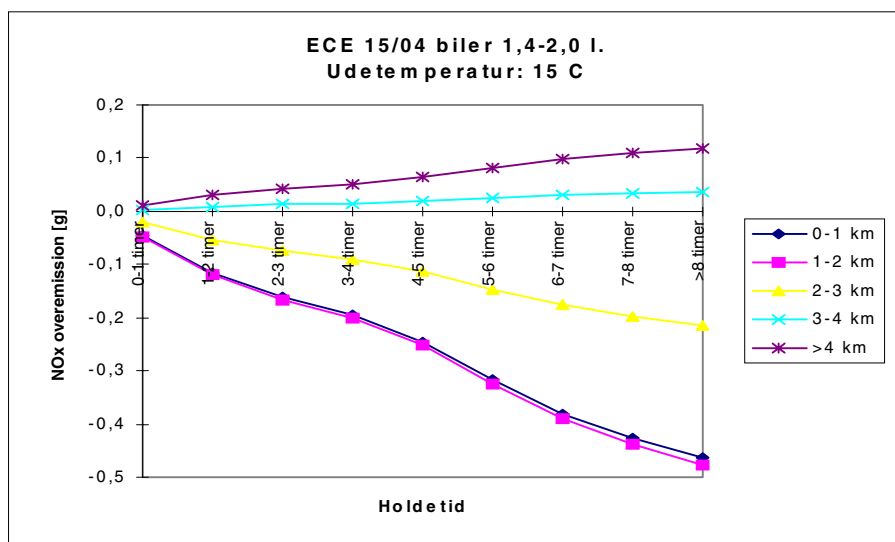


Figur 5.17 VOC-overemissionen ved -5°C efter forskellige holdetider for afhængig af den kørte strækning af koldstarten for katalysatorbiler (fuld varmmission efter 5 km = 0,5 g)

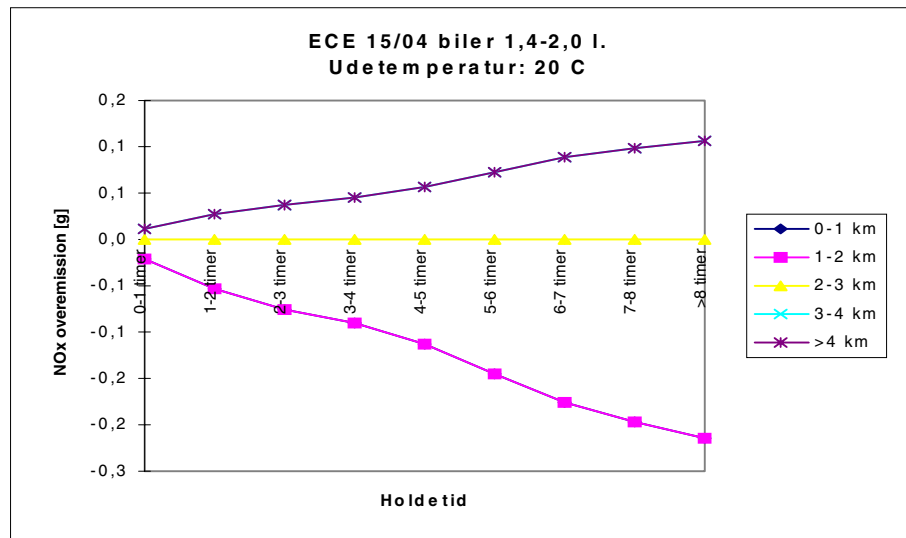
På de følgende figurer 5.18-5.20 ses overemissionen af NO_x efter at bilen har kørt hhv. 1, 2, 3, 4 og over 4 km med kold motor for ECE 15/04 biler ved -5 , 15 og 20°C . Strækningerne er optegnet for de 9 forskellige holdetider. Kurven for 2-3 km viser således, hvor meget koldemission der er udsendt, når bilen har kørt de første 2-3 km af sin tur. Denne kurve skal benyttes for ture på 2-3 km længde. For alle ture over 4 km benyttes kurven for >4 km.



Figur 5.18 NO_x -overemissionen ved -5°C afhængig af holdetiden på forskellige tidspunkter af koldstarten for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 8,3 g)



Figur 5.19 NO_x -overemissionen ved 15°C afhængig af holdetiden på forskellige tidspunkter af koldstarten for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 8,3 g)



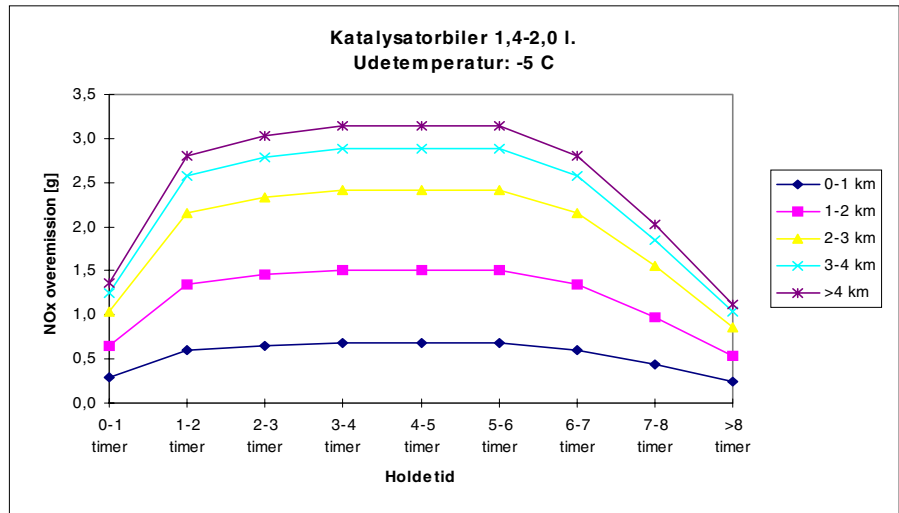
Figur 5.20 NO_x-overemissionen ved 20°C afhængig af holdetiden på forskellige tidspunkter af koldstarten for ECE 15/04 biler (fuld varmmission efter 5 km = 8,3 g)

Rækkefølgen af overemissionsniveauerne ved samme holdetid er opsigtsvækkende og må skyldes en fejl i WB. Som figur 5.12 også viser, kan bilen med den kolde motor ikke få en større øjeblikkelig emissionsfaktor, når motoren gradvist varmes op, end i situationen hvor motoren har været varm fra start. For udetemperaturen -5°C (figur 5.18) stiger forskellen mellem i alt opsamlet emission med kold og varm motor, udtrykt ved overemissionen, som forventet efter 1, 2 og 3 km kørsel. Overemissionen efter 3 km er den laveste, men efter 2 km har overemissionen næsten samme niveau. Dette betyder, at motoren praktisk taget er varm allerede efter 2 km.

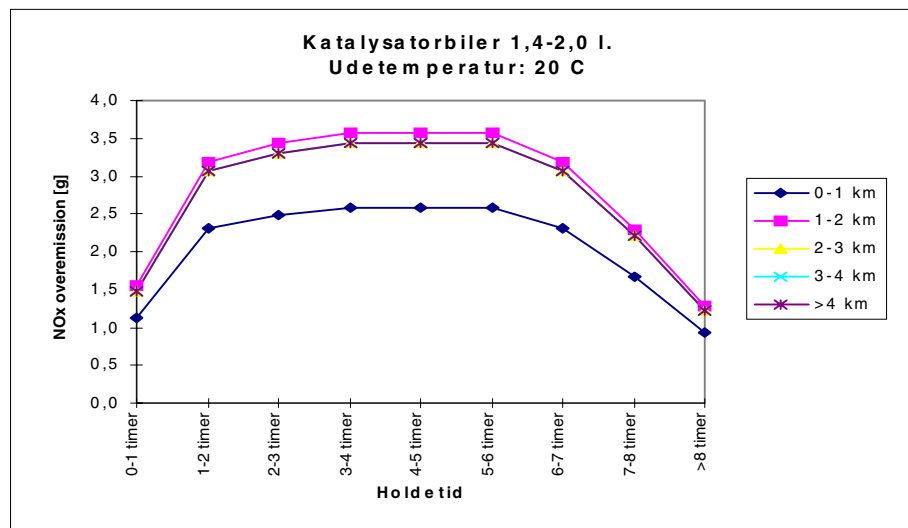
Efter 4 km kørsel bliver den øjeblikkelige NO_x-emission fra den kolde motor på figuren angiveligt større end emissionen fra den varme motor. Dette ses ved, at den absolutte overemission falder. Emissionsforskellen mellem kold og varm motor fortsætter stigningen, når bilen har kørt over 4 km. Faldet i overemissionen efter 4 km kørsel skyldes en fejl i WB, da den allerede skabte overemission med kold motor ikke kan fjernes, når motoren er varm.

Den samme fejl optræder på figur 5.19 og 5.20. På figur 5.19 falder overemissionen ved udetemperaturen 15°C efter hhv. 1 og 2 km, således at den laveste overemission opnås efter 2 km kørsel. For videre kørsel viser figuren en stigning i overemissionen efter 3, 4 og over 4 km kørsel som må tilskrives en fejl i WB's koldstartsmodul.

På figur 5.20 er overemissionen den samme efter 1 og 2 km. Motoren er altså varm allerede efter 1 km kørsel. Derefter stiger overemissionen pga. en fejl i WB op til 2-3 km kørsel og videre op til 3-4 samt over 4 km kørsel, der har samme overemission.



Figur 5.21 NO_x-overemissionen ved -5°C afhængig af holdetiden på forskellige tidspunkter af koldstarten for katalysatorbiler (fuld varmemission efter 5 km = 8,3 g)



Figur 5.22 NO_x-overemissionen ved 20°C afhængig af holdetiden på forskellige tidspunkter af koldstarten for katalysatorbiler (fuld varmemission efter 5 km = 1,4 g)

For katalysatorbiler på figur 5.21 og 5.22 ved udetemperaturer -5 og 20°C er NO_x-overemissionen også indtegnet for holdetider ved koldstartens forskellige intervaller. På figur 5.21 kan ved 5°C ses en stigning i overemissionen med øget holdetid for alle kørte strækninger og ved længere holdetider igen et fald. Grunden er, at motoren bliver koldere, desto længere tid bilen holder stille. Dette vil give mindre NO_x, men effekten modvirkes af, at katalysatoren også gradvist afkøles og dermed får en ringere virkningsgrad. For samme holdetider stiger overemissionen efterhånden som bilen kører længere, således at den største overemission er opsamlet, når hele koldstarten er gennemkørt.

Ved 20°C ses igen stigninger med holdetiden og siden fald i overemissionen for hver kørt strækning, der skyldes temperaturens indflydelse på motor og katalysator. Ved samme holdetider stiger ove-

remissionen frem til 2 km kørsel, hvorefter den falder en smule op til 3 km og siden er konstant. Den observerede udvikling i overemissionen efter 2 km kørsel skyldes som for ECE 15/04 biler en fejl i WB's koldstartsmodul.

Sammenfattende kan det konstateres, at udetemperaturen og holdetiden er meget væsentlig for størrelsen af overemissionerne ved koldstart. Variationer i holdetiden på op til 8 timer har betydning for overemissionen. Derimod er det ikke så afgørende, hvor lang turlængden er. Allerede efter 2 km kørsel må motoren betegnes som varm og al overemission afbrændt indenfor de temperaturintervaller, der er typiske for det danske klima næsten hele året.

5.2 Koldstartsberegning med WB

På basis af tal fra Transportvaneundersøgelsen i 1996 er koldstartsemissionerne af CO, HC, NO_x, partikler og CO₂ beregnet for personbiler ud fra både COPERT II og WB. Resultaterne er sammenlignet og giver en indikation på følsomheden af at anvende forskellige modeller. I Transportvaneundersøgelsen kendes bilernes årgang (men ikke fordelt på drivmiddel og motorstørrelse) og den kørte strækning.

I WB hentes de ekstra emissioner ved koldstart for alle personbilstrata, der befinder sig i trafikken, og disse vægtes, som de forekommer i bilparken for den pågældende årgang af biler. Som køremønster bruges bykøremønstret med en gennemsnitshastighed på 37,2 km/h, der ligger til grund for analysen af koldstartstillæg i forrige afsnit. Bykøremønstret bruges, idet den præcise turrute ikke kendes. Det forudsættes, at langt de fleste ture starter med bykørsel ad rolige veje og at kun få ture bevæger sig direkte ud på det overordnede vejnet med høje hastigheder.

Emissionerne beregnes afhængig af kørestrækningerne på hhv. 1, 2, 3, 4 og over 4 km længde, frem til når bilens motor er helt varm. Dette gøres for hver af holdetiderne 0-1, 1-2 osv. op til over 8 timer. I den sidste situation regnes bilens motor at være fuldstændig kold.

De opsamlede emissioner ved kombinationerne af kørestrækninger og holdetider for koldstarten findes alle ved udetemperaturene -5, 0, 5, 10, 15 og 20°C. For udetemperaturen 10°C bruges et gennemsnit af emissionerne ved 5 og 15°C, for at omgå fejlen i WB. Alle udetemperaturene tilnærmes månedernes gennemsnitstemperaturer efter tabel 5.1 for at kunne beregne koldstartsemissionerne for alle årets måneder.

Tabel 5.1 Tilnærmede udetemperaturer i °C for årets måneder i 1996

Måned	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
Temp.	0	-5	0	5	10	15	15	20	10	10	5	0

Emissionselementer hentes altså ud af databasen som kombinationer af personbilstrata, kørt strækning, holdetid og omgivelsestemperatur.

Tabel 5.2 viser de strata, der benyttes ved koldstartsberegningerne, jf. tabel 3.2 i afsnit 3.1.1.

Tabel 5.2 Køretøjsstrata benyttet ved koldstartsberegningerne

Benzinpersonbiler	Dieselpersonbiler
PRE ECE < 1.4 liter	Før 1986 (Konventionel) < 2.0 liter
PRE ECE, 1.4-2.0 liter	Før 1986 (Konventionel) > 2.0 liter
PRE ECE > 2.0 liter	XXIII (EURO I) < 2.0 liter
ECE 15/00 < 1.4 liter	XXIII (EURO I) > 2.0 liter
ECE 15/00, 1.4-2.0 liter	
ECE 15/00 > 2.0 liter	
ECE 15/01-02 < 1.4 liter	
ECE 15/01-02, 1.4-2.0 liter	
ECE 15/01-02 > 2.0 liter	
ECE 15/03 < 1.4 liter	
ECE 15/03, 1.4-2.0 liter	
ECE 15/03 > 2.0 liter	
ECE 15/04 < 1.4 liter	
ECE 15/04, 1.4-2.0 liter	
ECE 15/04 > 2.0 liter	
Katalysator (1991) < 1.4 liter	
Katalysator (1991) 1.4-2.0 liter	
Katalysator (1991) > 2.0 liter	

For PRE ECE biler (biler nyregistreret før 1970) og ECE 15/00 biler findes der ingen målte koldstartsemissioner i WB. I stedet bruges emissionselementerne for ECE 15/01-02 biler.

Transportvaneundersøgelsen giver for hver tur oplysninger om den individuelle bils første registreringsår, hvor lang en strækning bilen har kørt samt starttidspunktet for turen med 1 times nøjagtighed. Ligeledes er interviewtidspunktet registreret ved angivelse af måned.

For at beregne koldstarterne er det nødvendigt at gøre nogle antagelser. Bilerne er kun kendt på indregistreringsår og ikke på drivmiddel og motorstørrelse. Oplysninger om årskørslen og antal biler på landsplan angivet af Vejdirektoratet (1998) er derfor brugt til at beregne en gennemsnitlig emissionsfaktor for den pågældende bilårgang.

På denne måde kan aggregerede emissionselementer dannes og benyttes i de videre beregninger. Følgende udtryk beregner de aggregerede emissionselementer $E_{i,y,m,h,t}$ for emissionskomponenten, i , første registreringsåret, y , interviewmåneden, m , holdetiden, h , og tur-længden, t , for de indgående strata, s , i første registreringsåret.

$$E_{i,y,m,h,t} = \sum_s k_{s,y} \cdot E_{i,s,m,h,t} \quad (13)$$

I formel 13 betegner $k_{s,y}$ stratabrøkdelen af førsteregistreringsåret, y 's samlede trafikarbejde i 1996. Et uddrag af de beregnede emissions-elementer for biler med angivne førsteregistreringsår fra 1983 til 1996 for beregningsåret 1996 er vist i tabel 5.3.

Tabel 5.3 Eksempel på CO-overemissioner (kørt strækning og holdetid ved -5°C for personbiler)

Temp	Strækning	Holdetid	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
-5°C	1 km	0-1 time	3,95	3,95	3,95	4,43	4,43	4,42	4,39	4,37	2,52	2,52	2,52	2,53	2,53	2,53
-5°C	2 km	0-1 time	5,44	5,44	5,44	6,10	6,10	6,08	6,05	6,02	3,17	3,18	3,18	3,18	3,18	3,18
-5°C	3 km	0-1 time	5,70	5,70	5,70	6,39	6,39	6,37	6,34	6,30	3,25	3,26	3,26	3,26	3,26	3,26
-5°C	4 km	0-1 time	5,81	5,81	5,81	6,51	6,51	6,49	6,46	6,42	3,28	3,28	3,28	3,29	3,29	3,29
-5°C	4- km	0-1 time	5,88	5,88	5,88	6,59	6,59	6,57	6,54	6,50	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
-5°C	1 km	1-2 time	10,54	10,54	10,54	11,82	11,81	11,78	11,72	11,66	8,20	8,20	8,20	8,21	8,21	8,21
-5°C	2 km	1-2 time	14,52	14,52	14,52	16,28	16,27	16,23	16,14	16,05	10,32	10,32	10,32	10,32	10,33	10,33
-5°C	3 km	1-2 time	15,21	15,21	15,21	17,06	17,05	17,00	16,92	16,82	10,58	10,58	10,58	10,59	10,59	10,59
-5°C	4 km	1-2 time	15,49	15,49	15,49	17,37	17,36	17,31	17,23	17,13	10,67	10,67	10,68	10,68	10,68	10,68
-5°C	4- km	1-2 time	15,68	15,68	15,68	17,59	17,57	17,53	17,44	17,34	10,72	10,72	10,72	10,72	10,73	10,73
-5°C	1 km	2-3 time	27,68	27,68	27,68	31,03	31,01	30,93	30,78	30,60	14,52	14,52	14,53	14,53	14,53	14,54
-5°C	2 km	2-3 time	38,11	38,11	38,11	42,74	42,70	42,60	42,38	42,13	18,26	18,27	18,27	18,28	18,28	18,29
-5°C	3 km	2-3 time	39,93	39,93	39,93	44,78	44,75	44,63	44,41	44,15	18,73	18,73	18,74	18,74	18,75	18,75
-5°C	4 km	2-3 time	40,66	40,66	40,66	45,60	45,56	45,45	45,22	44,95	18,89	18,90	18,90	18,90	18,91	18,91
-5°C	4- km	2-3 time	41,17	41,17	41,17	46,17	46,13	46,02	45,78	45,52	18,97	18,98	18,98	18,99	18,99	19,00

Tabellen viser overemissionen af CO ved en udetemperatur på -5°C, efter 1, 2, 3 og 4 km kørsel, frem til bilen er helt varm efter at have kørt over 4 km. Overemissionen beregnes, når bilen har holdt 0-1, 1-2 timer osv. frem til en holdetid på over 8 timer. Alle holdetider er dog ikke vist i tabellen. Der ses tydelige spring i overemissionerne for visse førsteregistreringsår frem til 1996. Årene 1986 og 1991 svarer til de år, hvor nye biler skal opfylde hhv. ECE 15/04 og 91/441 EEC normen. Overemissionen stiger også, jo længere holdetid bilen har.

Bilernes holdetid kendes ikke i transportvaneundersøgelsen, idet informationen om ture er knyttet til interviewpersonen og ikke til bilen. Det antages, at køretøjet ved dagens første tur har haft en holdetid på over 8 timer. Desuden regnes der med, at interviewpersonen kører i den samme bil hver gang, og at bilen ikke har været kørt af andre ind imellem. Dette giver nogle fejl, som det ikke er ikke muligt at kompensere for. Fejlen vil eksempelvis optræde, når en person første gang kører i bil om aftenen. Bilen vil da typisk have været brugt af en anden person i dagens løb. Omvendt behøver en persons ture ikke nødvendigvis at være kørt i samme bil. F.eks. kan en situation forekomme, hvor personen er kørt hjem fra arbejde som passager og derefter kører en tur i en anden bil. Fejlene trækker alt i alt i retning af en overvurdering af koldstartstillægget.

Endeligt afrundes starttidspunktet for turen til hel i døgnets timer. To ture, der følger kort efter hinanden, kan dermed registreres til at starte på samme hele klokkeslæt. Første tur tager en vis tid og beregnes derfor til at slutte "over hel". Den beregnede holdetid for den følgende tur bliver dermed negativ. Når holdetiden findes til at være negativ, antages den i stedet at være indenfor holdetidsintervallet 0-1 time.

Resultatet af koldstartsemissionsberegningerne med WB for TU-data er vist i tabel 5.4. Hver måneds overemissioner af stoffet i , $E_{i,m}$, beregnes med formel 14. Her kombineres turantallet, $N(\text{tur})$, opgjort efter måned, førsteregistreringsår, holdetid og turlængde med det sammenhørende element for overemissionen, der beregnes i formel 13.

$$E_{i,y,m,h,t} = \sum_s k_{s,y} \cdot E_{i,s,m,h,t} \quad (14)$$

Tabel 5.4 Totale overemissioner for koldstart i kg beregnet med WB på basis af TU data

[kg]	Årgang	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktober	Novem.	Decem.	I alt kold	I alt varm
CO	t.o.m 1969	2,6	1,5	1,3	1,0	0,9	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,6	9,7	34,0
	1970-1980	20,8	18,8	16,7	14,9	10,0	4,8	3,3	3,2	6,6	8,7	8,1	16,2	132,3	288,9
	1981-1985	39,1	28,8	30,6	26,3	13,0	9,3	8,3	5,1	14,0	12,8	17,7	27,0	232,1	864,4
	1986-1990	62,5	56,7	44,9	45,4	28,7	17,7	14,8	11,3	26,6	28,4	38,1	45,9	420,9	851,9
	efter 1990	27,1	28,5	22,9	22,8	13,7	9,0	7,0	5,5	14,4	15,7	19,4	26,2	212,2	206,3
	I alt	152,1	134,3	116,4	110,5	66,3	41,1	33,7	25,2	62,0	66,0	83,8	115,9	1007,2	2.245,5
VOC	t.o.m 1969	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	1,2	2,9
	1970-1980	2,9	2,8	2,3	1,9	1,2	0,5	0,3	0,2	0,8	1,0	1,0	2,2	17,0	30,2
	1981-1985	7,9	6,4	6,3	5,0	2,3	1,4	1,3	0,6	2,5	2,3	3,3	5,6	44,8	94,7
	1986-1990	11,5	11,0	8,4	7,9	4,6	2,4	2,1	1,2	4,3	4,5	6,7	8,7	73,2	137,0
	efter 1990	2,9	3,4	2,5	2,4	1,4	1,0	0,7	0,8	1,5	1,7	2,0	2,9	23,2	20,5
	I alt	25,6	23,7	19,6	17,3	9,6	5,3	4,4	2,8	9,1	9,5	13,0	19,4	159,5	285,4
NO _x	t.o.m 1969	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	2,39
	1970-1980	-0,09	-0,10	-0,06	-0,04	-0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,06	-0,41	29,20
	1981-1985	-0,25	-0,25	-0,19	-0,11	-0,03	0,00	0,00	0,01	-0,04	-0,03	-0,07	-0,17	-1,14	88,39
	1986-1990	-0,25	-0,30	-0,18	-0,12	-0,05	0,00	0,01	0,01	-0,04	-0,05	-0,10	-0,18	-1,25	165,86
	efter 1990	1,01	0,91	0,92	1,28	0,98	1,01	0,73	1,12	0,99	1,20	1,03	1,06	12,25	44,45
	I alt	0,40	0,25	0,48	1,01	0,88	1,01	0,74	1,15	0,91	1,11	0,83	0,64	9,42	330,30
Partikler	t.o.m 1969	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	1970-1980	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,30
	1981-1985	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	0,96
	1986-1990	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,18	1,73
	efter 1990	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,51
	I alt	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,43	3,53
CO ₂	t.o.m 1969	8	4	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	31	97
	1970-1980	67	56	52	48	34	19	13	15	22	29	25	50	432	1.059
	1981-1985	174	131	140	126	65	53	47	38	72	65	80	125	1.117	3.177
	1986-1990	200	177	147	156	106	70	64	60	100	103	133	154	1.470	5.245
	efter 1990	146	152	125	132	86	65	50	54	88	99	110	143	1.249	8.121
	I alt	597	520	467	465	294	208	175	168	284	298	350	474	4.299	17.699

5.3 Koldstartsberregning med COPERT II

De samme TU-data kan også kombineres med COPERT II koldstartsdata til beregning af de ekstra emissioner ved koldstart. I modsætning til WB antager COPERT som beregningsmodel, at alle ture starter kolde, og at den samlede koldkørte del, β_m , af de i alt kørte kilometre pr. måned afhænger af den gennemsnitlige turlængde l_{trip} og månedens gennemsnitlige udetemperatur t_a ud fra følgende udtryk:

$$\beta_m = 0,647 - 0,025 \cdot l_{trip} - (0,00974 - 0,000385 \cdot l_{trip}) \cdot t_a \quad (15)$$

Formlen kan imidlertid ikke benyttes ved meget store og små turlængder. I stedet er den koldkørte brøkdelen af en tur på 15 km (gennemsnitsturlængden på landsplan) beregnet. Brøkdelen kaldes også β_m og beregnes for hver måneds temperatur med formel 14. Heraf er den faste strækning på hver tur kørt med kold motor, l_{kold} fundet. β_m og l_{kold} er vist i tabel 5.5.

Tabel 5.5 Månedernes udetemperatur, koldkørt fraktion af turlængde og koldkørt strækning i 1996

	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
Temp (°C)	0	-5	0	5	10	15	15	20	10	10	5	0
β_m	0,27	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,21	0,19	0,23	0,23	0,25	0,27
l_{kold}	4,1	4,4	4,1	3,8	3,5	3,2	3,2	2,9	3,5	3,5	3,8	4,1

Den totale emissionsfaktor under koldstarten beregnes ved at multiplicere et forhold mellem emissionsfaktorerne ved koldstart og varmstart, det såkaldte kold/varm-forhold, med emissionsfaktoren for varme motorer. Fratrækkes den varme emissionsfaktor, fås tilføjet til strataemissionsfaktoren pga. koldstarten, $\Delta e_{kold_{i,s,m}}$, i hver måned.

$$\Delta e_{kold_{i,s,m}} = e_{var_{m_{i,s}}} \cdot \left(\frac{e_{kold}}{e_{var_{m}}} - 1 \right)_{i,s,m} \quad (16)$$

COPERT II indeholder kold/varm forhold for konventionelle benzinbiler, benzinbiler med katalysator og dieslbiler. Kold/varm forholdet ved de tilnærmede udetemperaturer for årets måneder er vist i tabel 5.6.

Tabel 5.6 Månedernes kold/varm forhold i COPERT for forskellige køretøjskoncepter

		Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
CO	Konventionel	3,70	4,15	3,70	3,25	2,80	2,35	2,35	1,90	2,80	2,80	3,25	3,70
CO	Katalysator	9,04	9,49	9,04	8,59	8,14	7,69	7,69	7,24	8,14	8,14	8,59	9,04
CO	Diesel	1,90	2,05	1,90	1,75	1,60	1,45	1,45	1,30	1,60	1,60	1,75	1,90
NO _x	Konventionel	1,14	1,17	1,14	1,11	1,08	1,05	1,05	1,02	1,08	1,08	1,11	1,14
NO _x	Katalysator	3,66	3,69	3,66	3,63	3,60	3,57	3,57	3,54	3,60	3,60	3,63	3,66
NO _x	Diesel	1,30	1,37	1,30	1,24	1,17	1,11	1,11	1,04	1,17	1,17	1,24	1,30
VOC	Konventionel	2,80	3,10	2,80	2,50	2,20	1,90	1,90	1,60	2,20	2,20	2,50	2,80
VOC	Katalysator	12,59	12,89	12,59	12,29	11,99	11,69	11,69	11,39	11,99	11,99	12,29	12,59
VOC	Diesel	3,10	3,55	3,10	2,65	2,20	1,75	1,75	1,30	2,20	2,20	2,65	3,10
Partikler	Konventionel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Partikler	Katalysator	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Partikler	Diesel	3,10	3,60	3,10	2,60	2,10	1,60	1,60	1,10	2,10	2,10	2,60	3,10
CO ₂	Konventionel	1,47	1,52	1,47	1,43	1,38	1,34	1,34	1,29	1,38	1,38	1,43	1,47
CO ₂	Katalysator	1,47	1,52	1,47	1,43	1,38	1,34	1,34	1,29	1,38	1,38	1,43	1,47
CO ₂	Diesel	1,34	1,38	1,34	1,30	1,26	1,22	1,22	1,18	1,26	1,26	1,30	1,34

Som varmstartemissionsfaktorer bruges faktorer for hver stratum angivet i tabel 10 ved en rejsehastighed på 37,2 km/h. COPERT angiver i modsætning til WBEF separate strataemissionsfaktorer for PRE ECE biler og faktorer samlet for ECE 15/00-01 biler. Tabel 5.7 viser emissionsfaktorerne for varme motorer ved 37,2 km/h.

Tabel 5.7 Samlede varmstartsemissionsfaktorer for personbiler ud fra førstegangs registreringsår

Alder	CO (g/km)	NO _x (g/km)	VOC (g/km)	Partikler (g/km)	CO ₂ (g/km)
t.o.m. 1969	26,37	1,85	2,28	0,018	241
1970	18,37	1,85	1,80	0,018	209
1971	18,37	1,85	1,80	0,018	209
1972	18,37	1,85	1,80	0,018	209
1973	18,37	1,85	1,80	0,018	209
1974	18,37	1,84	1,80	0,018	208
1975	18,37	1,85	1,80	0,018	208
1976	18,37	1,84	1,80	0,018	208
1977	18,37	1,84	1,80	0,018	208
1978	18,37	1,84	1,80	0,018	207
1979	15,41	1,58	1,79	0,018	192
1980	15,41	1,58	1,79	0,018	192
1981	16,36	1,67	1,79	0,018	191
1982	16,36	1,68	1,79	0,018	192
1983	16,36	1,67	1,79	0,018	193
1984	16,36	1,67	1,79	0,018	192
1985	16,36	1,67	1,79	0,018	192
1986	8,93	1,74	1,44	0,018	175
1987	8,93	1,73	1,44	0,018	175
1988	8,93	1,74	1,44	0,018	175
1989	8,93	1,74	1,44	0,018	175
1990	8,93	1,75	1,44	0,018	175
1991	1,65	0,34	0,16	0,004	191
1992	1,63	0,34	0,16	0,004	192
1993	1,61	0,34	0,16	0,004	193
1994	1,59	0,34	0,16	0,004	194
1995	1,57	0,34	0,16	0,004	195
1996	1,55	0,33	0,16	0,004	195

Tillægget til emissionsfaktoren er vægtet i formel 17 efter hver stratas brøkdelt af trafikarbejdet, $k_{s,y}$, i førsteregistreringsåret, y . Fordelingen af trafikarbejdet er angivet af Vejdirektoratet (1998).

$$\Delta e_{kold_{i,m}} = \sum_s k_{s,y} \cdot \Delta e_{kold_{i,s,m}} \quad (17)$$

Ved at kombinere koldstartstillægget fra formel 17 med antallet af ture $N(\text{tur})$ og den kørte strækning med kold motor, l_{kold} , kan hver måneds samlede overemission beregnes. Overemissionen kaldes $\Delta E_{i,m}$. Antallet af ture, N_{trip} , fås fra TU-data og den koldkørte strækning af hver tur, $l_{\text{koldy,m}}$, er angivet i tabel 5.5.

$$\Delta E_{i,m} = \sum_y N(\text{tur})_{y,m} \cdot l_{\text{koldy,m}} \cdot \Delta e_{\text{koldi,m}} \quad (18)$$

De samlede koldstartsemmissioner beregnet med COPERT koldstartsdata er vist i tabel 5.8.

Tabel 5.8 Overemissioner for koldstart i kg beregnet med COPERT ud fra TU-data

[kg]	Årgang	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	I alt kold	I alt varm
CO	t.o.m. 1969	8,1	3,6	1,5	1,8	1,7	0,7	0,5	0,3	0,7	0,7	0,9	2,3	22,6	34,0
	1970-1980	35,8	27,3	22,1	21,7	14,1	7,1	5,2	4,7	8,0	11,5	12,2	25,6	195,3	288,9
	1981-1985	88,5	72,7	71,4	62,7	29,1	21,7	19,2	13,3	35,1	30,2	35,7	64,6	544,2	864,4
	1986-1990	69,2	63,9	49,9	50,0	34,4	18,1	17,2	13,8	31,3	30,7	44,4	54,3	477,3	851,9
	efter 1990	39,4	40,0	34,7	38,9	24,6	21,3	15,8	20,1	26,2	29,9	31,9	40,5	363,3	206,3
	I alt	241,1	207,5	179,6	175,0	103,9	68,9	57,8	52,2	101,4	102,9	125,2	187,2	1602,8	2.245,5
VOC	t.o.m. 1969	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	1,3	2,9
	1970-1980	2,5	1,9	1,6	1,5	1,0	0,5	0,4	0,3	0,6	0,8	0,9	1,8	13,7	30,2
	1981-1985	6,5	5,3	5,2	4,6	2,1	1,6	1,4	1,0	2,6	2,2	2,6	4,7	39,9	94,7
	1986-1990	7,5	6,9	5,4	5,4	3,7	1,9	1,8	1,5	3,4	3,3	4,8	5,9	51,4	137,0
	efter 1990	5,6	5,5	4,9	5,7	3,7	3,3	2,5	3,3	4,0	4,5	4,7	5,7	53,3	20,5
	I alt	22,5	19,9	17,2	17,3	10,6	7,4	6,1	6,1	10,5	10,9	13,0	18,3	159,7	285,4
NO _x	t.o.m. 1969	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	2,39
	1970-1980	0,19	0,15	0,12	0,11	0,07	0,03	0,02	0,01	0,04	0,05	0,06	0,14	0,99	29,20
	1981-1985	0,49	0,42	0,39	0,32	0,14	0,08	0,08	0,03	0,17	0,14	0,18	0,35	2,79	88,39
	1986-1990	0,72	0,70	0,52	0,49	0,31	0,14	0,13	0,06	0,28	0,27	0,44	0,57	4,63	165,86
	efter 1990	2,59	2,53	2,28	2,67	1,78	1,62	1,19	1,61	1,89	2,16	2,20	2,67	25,19	44,45
	I alt	4,02	3,80	3,32	3,61	2,29	1,87	1,42	1,71	2,38	2,63	2,89	3,74	33,69	330,30
Partikler	t.o.m. 1969	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
	1970-1980	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,15	0,30
	1981-1985	0,08	0,07	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,03	0,06	0,42	0,96
	1986-1990	0,11	0,11	0,08	0,07	0,04	0,02	0,02	0,00	0,04	0,04	0,06	0,09	0,67	1,73
	efter 1990	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,19	0,51
	I alt	0,25	0,23	0,18	0,16	0,08	0,04	0,03	0,01	0,08	0,08	0,12	0,19	1,44	3,53
CO ₂	t.o.m. 1969	4	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	12	97
	1970-1980	22	16	14	15	11	6	5	5	6	9	8	16	133	1.059
	1981-1985	55	43	45	42	22	19	17	15	27	23	24	40	373	3.177
	1986-1990	73	63	52	57	44	27	26	27	40	39	50	57	553	5.245
	efter 1990	90	96	80	86	52	42	31	37	55	63	71	94	796	8.121
	I alt	245	219	192	201	129	95	78	84	128	134	154	208	1.867	17.699

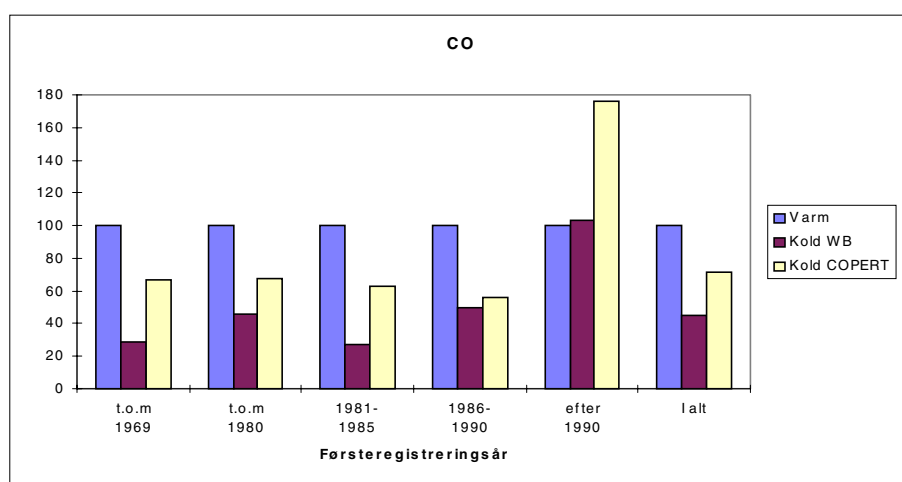
5.4 Sammenligning af samlede koldstartsemissioner med WB og COPERT

WB og COPERT's beregnede overemissioner ved koldstart kan sammenlignes indbyrdes og med emissionerne fra motoren, når den er varm. I tabel 5.9 er procentniveauet for WB og COPERT's kolde emissioner i forhold til COPERT varmemissionen vist for beregningseksemplet. Til at beregne varmemissionerne er COPERT-emissionsfaktorerne benyttet sammen med de samlede kørte km indenfor årskategoriene.

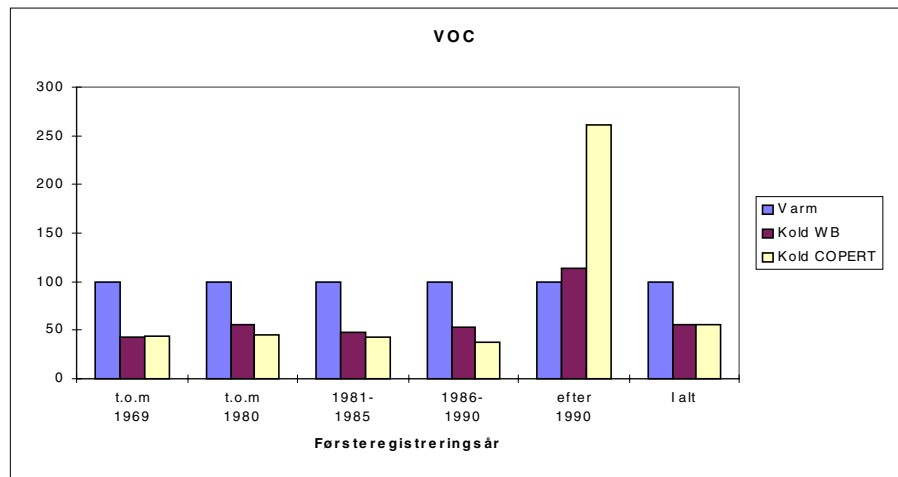
Tabel 5.9 Procentniveau for WB- og COPERT-overemissionerne ved koldstart i forhold til emissionerne ved varmstart

		t.o.m 1969	t.o.m 1980	1981-1985	1986-1990	efter 1990	I alt
CO	Varm	100	100	100	100	100	100
	Kold WB	28	46	27	49	103	45
	Kold COPERT	66	68	63	56	176	71
VOC	Varm	100	100	100	100	100	100
	Kold WB	42	56	47	53	113	56
	Kold COPERT	44	45	42	38	261	56
NO _x	Varm	100	100	100	100	100	100
	Kold WB	-1	-1	-1	-1	28	3
	Kold COPERT	3	3	3	3	57	10
Partikler	Varm	100	100	100	100	100	100
	Kold WB	12	13	12	11	17	12
	Kold COPERT	49	48	44	39	36	41
CO ₂	Varm	100	100	100	100	100	100
	Kold WB	32	41	35	28	15	24
	Kold COPERT	12	13	12	11	10	11

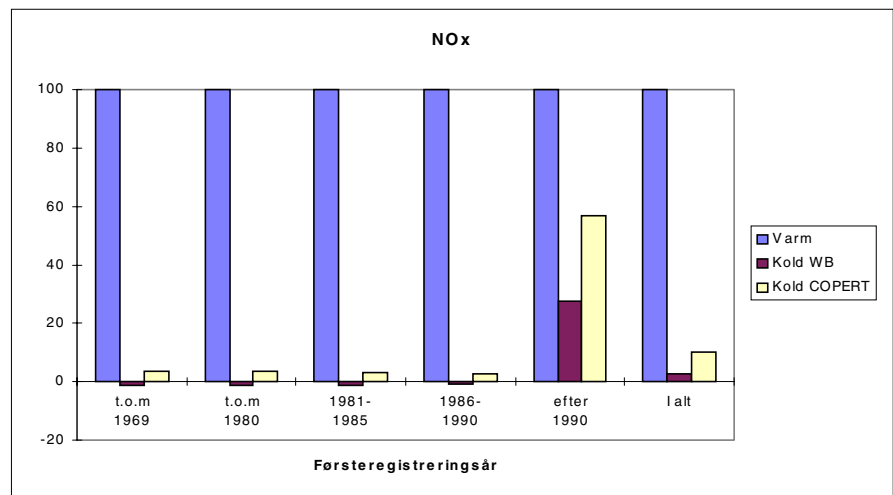
Procentniveauerne fra tabel 5.9 er også vist på figurerne 5.23 - 5.27.



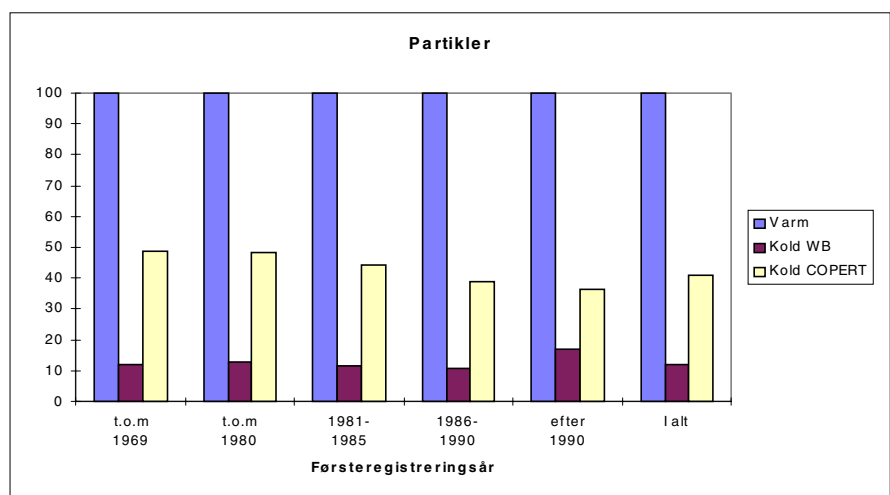
Figur 5.23 WB og COPERT's kolde CO-emissioner sat i relation til COPERT's varmemission



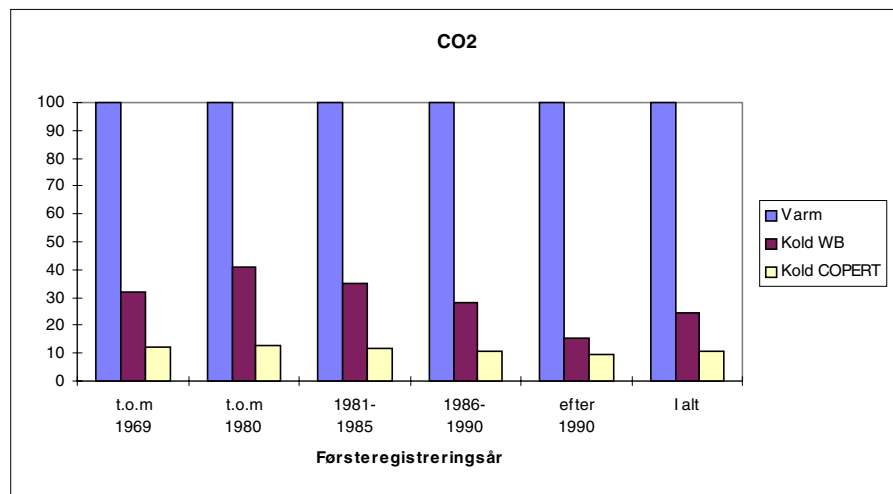
Figur 5.24 WB og COPERT's kolde VOC-emissioner sat i relation til COPERT's varmmission



Figur 5.25 WB og COPERT's kolde NO_x-emissioner sat i relation til COPERT's varmmission



Figur 5.26 WB og COPERT's kolde partikelemmissioner sat i relation til COPERT's varmmission



Figur 5.27 WB og COPERT's kolde CO₂-emissioner sat i relation til COPERT's varmmission

I tabel 5.10 er differencen mellem de beregnede koldstartsemissioner fra WB og COPERT beregnet i procent ud fra COPERT-koldemissionerne. Afvigelserne er beregnet ud fra summer af emissioner for biler med førsteregistreringsår før 1970, 1970-1980, 1981-1985, 1986-1990, efter 1990 og som samlede tal. Værdier med negativt fortegn i tabellen viser, at WB-overemissionen er mindre end overemissionen beregnet med COPERT.

Forskellen mellem COPERT og WB's fulde koldstartstillæg for årets måneder i bilernes årgangsklasser kan kun delvist forklare forskellene mellem de to modellers totalemissioner i tabel 5.10. De fulde koldstartstillæg er vist i bilag og differencen mellem tillæggene er vist i tabel 5.11.

COPERT's fulde koldstartstillæg er beregnet ud fra den koldkørte del af hver tur i tabel 5.3 og den vægtede emissionsfaktor i formel 17, jf. afsnit 5.3. WB's fulde koldstartstillæg er det vægtede emissionstillæg ved en holdetid over 8 timer og en turlængde over 4 km beregnet med formel 13, jf. afsnit 5.2. For begge modeller er koldstartstillæggene per førsteregistreringsår vægtet til årgangsklasser ud fra antallet af ture per måned og førsteregistreringsår, jf. bilag.

Tabel 5.10 Differencer mellem WB- og COPERT-koldemissioner udtrykt i procent af COPERT koldemissioner for årgangskategorier i beregningsårets måneder

	Årgang	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	Septem.	Oktober	Novem.	Decem.	I alt
CO	t.o.m. 1969	-68	-58	-12	-44	-48	-64	-55	-28	-38	-55	-50	-74	-57
	1970-1980	-42	-31	-25	-31	-29	-32	-35	-33	-18	-24	-34	-37	-32
	1981-1985	-56	-60	-57	-58	-55	-57	-57	-62	-60	-58	-50	-58	-57
	1986-1990	-10	-11	-10	-9	-17	-2	-14	-19	-15	-7	-14	-15	-12
	efter 1990	-31	-29	-34	-41	-44	-58	-55	-73	-45	-47	-39	-35	-42
	I alt	-37	-35	-35	-37	-36	-40	-42	-52	-39	-36	-33	-38	-37
VOC	t.o.m. 1969	-24	1	80	25	2	-28	-27	-7	35	7	7	-36	-5
	1970-1980	17	42	45	21	19	-3	-4	-30	35	29	18	20	24
	1981-1985	22	20	20	10	7	-12	-11	-40	-3	2	26	18	12
	1986-1990	54	59	56	47	25	22	13	-20	28	38	39	48	42
	efter 1990	-47	-38	-49	-58	-61	-71	-70	-76	-62	-63	-57	-50	-56
	I alt	14	19	14	0	-10	-29	-27	-54	-13	-12	0	6	0
NO _x	t.o.m. 1969	-142	-155	-187	-146	-111	-78	-127	-5	-111	-109	-122	-138	-140
	1970-1980	-146	-168	-150	-134	-124	-92	-87	-68	-124	-127	-137	-144	-141
	1981-1985	-152	-160	-149	-134	-125	-101	-99	-66	-122	-124	-138	-148	-141
	1986-1990	-135	-143	-135	-124	-117	-97	-94	-78	-115	-118	-123	-132	-127
	efter 1990	-61	-64	-60	-52	-45	-38	-39	-30	-47	-44	-53	-60	-51
	I alt	-90	-93	-86	-72	-62	-46	-48	-33	-62	-58	-71	-83	-72
Partikler	t.o.m. 1969	-84	-83	-67	-69	-60	-35	-44	604	-48	-58	-72	-86	-76
	1970-1980	-81	-81	-77	-75	-63	-34	-34	329	-59	-61	-76	-81	-73
	1981-1985	-80	-83	-80	-76	-65	-37	-36	304	-67	-66	-73	-80	-74
	1986-1990	-80	-82	-79	-75	-67	-32	-35	319	-66	-64	-76	-80	-73
	efter 1990	-64	-69	-65	-58	-35	14	17	621	-37	-38	-58	-66	-53
	I alt	-78	-80	-77	-73	-62	-27	-29	357	-62	-60	-73	-78	-70
CO ₂	t.o.m. 1969	112	167	335	233	196	146	112	267	281	218	203	85	165
	1970-1980	202	246	272	221	221	204	196	174	263	241	204	212	224
	1981-1985	214	206	214	196	195	174	176	148	173	186	231	210	200
	1986-1990	176	181	181	175	143	160	150	126	151	164	164	171	166
	efter 1990	62	59	55	53	65	55	61	47	60	57	56	52	57
	I alt	144	137	143	131	128	119	123	99	122	123	127	128	130

Tabel 5.11 Differencer mellem WB og COPERT's fulde koldtillæg udtrykt i procent af COPERT koldtillægget for årgangskategorier i beregningsårets måneder

	Årgang	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
CO	t.o.m. 1969	-10	-12	-10	-9	-7	-9	-9	-16	-7	-7	-9	-10
	1970-1980	37	36	38	43	44	46	38	30	45	41	41	38
	1981-1985	-11	-13	-11	-10	-8	-10	-10	-17	-8	-8	-10	-11
	1986-1990	82	79	82	85	89	85	85	70	89	89	85	82
	1991-1996	39	47	39	28	12	-11	-11	-43	12	12	28	39
VOC	t.o.m. 1969	82	89	82	72	64	37	37	-2	64	64	72	82
	1970-1980	130	139	130	118	108	74	74	24	108	107	118	130
	1981-1985	115	124	115	104	94	63	63	16	94	94	104	115
	1986-1990	171	182	171	157	145	105	105	46	145	145	157	171
	1991-1996	-8	8	-8	-23	-34	-48	-48	-56	-34	-34	-23	-8
NO _x	t.o.m. 1969	-170	-198	-170	-138	-115	-54	-54	8	-170	-170	-138	-170
	1970-1980	-174	-205	-175	-141	-116	-49	-51	17	-174	-174	-141	-175
	1981-1985	-177	-208	-177	-142	-117	-49	-49	19	-177	-177	-142	-177
	1986-1990	-152	-173	-152	-128	-110	-63	-63	-16	-152	-152	-128	-152
	1991-1996	-70	-74	-70	-66	-63	-58	-58	-54	-70	-70	-66	-70
CO ₂	t.o.m. 1969	348	353	348	340	331	307	307	273	331	331	340	348
	1970-1980	436	446	438	433	418	399	385	351	422	414	429	438
	1981-1985	414	419	414	405	395	367	367	329	395	395	405	414
	1986-1990	351	355	351	343	335	311	311	278	335	335	343	350
	1991-1996	206	203	206	208	209	203	203	190	209	209	208	206
Partikler	t.o.m. 1969	-67	-71	-67	-59	-41	8	8	609	-41	-41	-59	-67
	1970-1980	-67	-71	-67	-59	-41	8	8	609	-41	-41	-59	-67
	1981-1985	-67	-71	-67	-59	-41	8	8	609	-41	-41	-59	-67
	1986-1990	-67	-71	-67	-59	-41	8	8	609	-41	-41	-59	-67
	1991-1996	-42	-49	-42	-28	4	91	91	1151	4	4	-28	-42

Når tallene i tabel 5.10 og 5.11 sammenlignes, ses det, at de faktisk brugte WB-koldstartstillæg giver lavere totalemissioner, end hvad brugen af de fulde koldstartstillæg umiddelbart skulle forudsige. Selv om antallet af ture brugt i WB og COPERT er ens, gør forskellen i beregningsprincipperne det afgørende udslag. COPERT bruger en gennemsnitlig turlængde fundet for hver måned (udetemperatur) og bilens førsteregistreringsår, se bilag. Turlængden findes ud fra i alt kørte km og antallet af ture. I næsten alle tilfælde er denne turlængde længere, end COPERT's beregnede turlængde for kørsel med kold motor i hver måned. TU-datasættet kan altså benyttes i COPERT modellen og ud fra COPERT's princip medregne alle ekstraemissionerne.

Hvor COPERT bruger en gennemsnitlig turlængde for turene kørt i hver enkelt måned af biler med givne førsteregistreringsår, benytter WB modellen turenes varierende turlængder og holdetiden før hver tur. Turlængderne er i nogle tilfælde under 2 km og holdetiderne er ofte under 8 timer. I tabel 5.12 ses, at procentantallet af ture under 2

km er moderat og ofte i størrelsesordenen 10%. De fleste ture får altså beregnet hovedparten af den fulde overremission ved deres respektive holdetider.

Tabel 5.12 Antallet af ture under 2 km udtrykt i procent for måneder og førsteregistreringsår

Årgang	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
< 1970	4	10	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0
1970-1980	7	12	3	13	14	6	7	10	3	4	21	7
1981-1985	12	9	6	10	10	7	8	6	12	5	11	8
1986-1990	8	8	10	7	10	10	4	10	9	10	10	6
1991-1996	10	7	10	6	6	8	5	11	11	8	11	9

Mere afgørende for WB overremissionens niveau er, at mange tures holdetider er korte. I tabel 5.13 ses, at en stor procentdel af alle ture køres efter, at bilen har holdt stille i op til 2 timer. Ture med korte holdetider før start har kun beskedne overremissioner i forhold til holdetider over 8 timer, jf. afsnit 5.1.

Tabel 5.13 Antallet af ture ved forskellige holdetider udtrykt i procent

Holdetid	Årgang	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	Septem.	Oktober	Novem.	Decem.
0-1 time	t.o.m. 1969	54	40	0	13	20	33	25	0	0	0	25	50
	1970-1980	34	29	20	35	29	31	29	30	25	24	36	38
	1981-1985	30	32	34	36	33	36	36	34	38	36	28	32
	1986-1990	33	32	28	30	38	28	31	32	34	31	33	32
	1991-1996	32	29	32	34	29	33	32	33	32	30	32	35
1-2 timer	t.o.m. 1969	7	10	0	13	20	17	25	0	0	25	0	13
	1970-1980	15	11	13	7	10	11	16	9	8	13	6	10
	1981-1985	10	10	8	7	9	8	7	11	10	12	8	10
	1986-1990	8	8	10	10	8	11	12	10	11	10	9	10
	1991-1996	9	12	11	11	10	10	10	11	10	12	11	10
2-3 timer	t.o.m. 1969	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25	25	13
	1970-1980	6	6	11	7	7	4	4	7	3	4	6	4
	1981-1985	7	8	5	6	6	4	4	7	5	4	5	5
	1986-1990	5	6	7	7	7	5	6	7	6	5	7	8
	1991-1996	7	9	6	6	7	5	5	7	5	7	8	5
3-4 timer	t.o.m. 1969	0	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0	0
	1970-1980	3	4	4	5	5	8	3	4	7	3	4	2
	1981-1985	3	4	6	5	4	4	5	4	3	2	3	7
	1986-1990	4	4	5	4	3	3	7	4	5	5	6	5
	1991-1996	4	4	5	4	5	4	3	3	4	5	4	5
4-5 timer	t.o.m. 1969	4	0	0	0	0	17	0	25	25	0	0	0
	1970-1980	2	2	3	3	5	5	6	4	3	7	2	3
	1981-1985	3	4	3	2	2	3	3	2	3	2	4	2
	1986-1990	3	2	3	4	4	3	3	4	2	2	2	3
	1991-1996	2	2	1	3	4	5	4	3	3	3	2	3
5-6 timer	t.o.m. 1969	4	10	0	13	0	0	0	0	0	25	0	0
	1970-1980	4	6	1	2	1	2	0	0	7	3	5	1
	1981-1985	3	2	2	3	1	2	3	2	3	4	3	3
	1986-1990	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
	1991-1996	2	2	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2
6-7 timer	t.o.m. 1969	7	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
	1970-1980	4	3	2	3	3	1	7	0	5	2	0	3
	1981-1985	3	2	3	3	1	4	2	3	1	2	2	2
	1986-1990	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2
	1991-1996	2	3	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2
7-8 timer	t.o.m. 1969	0	10	20	13	0	0	0	0	0	0	25	0
	1970-1980	2	3	4	6	3	4	0	6	3	3	2	4
	1981-1985	4	2	4	4	5	4	4	3	3	3	5	4
	1986-1990	4	5	4	3	3	5	2	4	2	5	3	2
	1991-1996	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3
> 8 timer	t.o.m. 1969	25	30	80	38	50	17	50	75	50	25	25	25
	1970-1980	30	36	42	34	38	34	35	40	41	42	39	35
	1981-1985	38	35	37	34	37	35	36	35	34	35	43	36
	1986-1990	37	38	37	38	34	41	35	35	35	37	35	36
	1991-1996	38	36	35	34	37	35	38	36	36	34	36	36

Det viser sig, at både grunddata for koldstartsberegningerne og de to modellers forskellige beregningsmetoder får indflydelse på det endelige emissionsestimater.

For CO, NO_x og partikler er overemissionerne 37, 72 og 70% mindre for WB sammenlignet med COPERT. Den samlede VOC-overemission er ens i de to modeller. Endelig er CO₂-overemissionerne 130% større for WB end for COPERT. Afvigelserne i totalemissionerne dækker over betydelige udsving i deltotalerne indenfor bilårgangene taget måned for måned. Undtagen for CO er WB's overemissioner mere temperaturafhængige end overemissionerne fra COPERT, jf. tabel 5.10 og 5.11 hvor trenden er tydelig med stigende udetemperaturer fra februar til august.

Analysen af WB koldstartsemissionerne viser, hvor følsom overemissionstillægget er overfor udetemperaturen, holdetiden og den kørte strækning. For koldstartsberegninger lægges der op til evaluering af COPERT's beregningsmetode, når modellen skal opdateres i EU-regi. Kan turenes fordeling findes på et mere detaljeret niveau end bare som en årlig gennemsnitlig turlængde, vil præcisionen af koldstartsberegningen blive markant bedre.

6 Emissionsprognoser

Baggrunden for nærværende projekt var som udgangspunkt at lave en prognoseberegning med TREMOD og BILEMIS prognosemodellerne og herefter sammenligne modelresultaterne. Arbejdet skulle lede frem til en evaluering af TREMOD's anvendelighed til prognostisering af danske trafikemissioner. Igennem projektperioden blev det imidlertid klart, at TREMOD ikke ville blive tilgængelig i en version, hvor danske trafikdata kunne lægges ind. Som en konsekvens af dette blev kernen i projektet drejet fra kun at omhandle emissionsprognoser til også at analysere emissionerne fra varmstart og koldstart i detaljer.

Selv om prognosearbejdet er kraftigt beskåret i dette projekt beskrives beregningen af emissionsprognoser med TREMOD og BILEMIS kortfattet. En BILEMIS prognoseberegning er udført sideløbende med nærværende projekt (Winther og Ekman, 1998). Fordele og ulemper ved TREMOD og BILEMIS metoderne sættes i forhold til de krav, der bør stilles til danske prognoseberegninger. I sidste del af kapitlet gennemgås teorien bag fremskrivningen af emissions- og energiforbrugsfaktorer, og der gøres status for arbejdet med at opbygge en ny dansk prognosemodel.

6.1 Generelt om emissionsprognoser

Det kræver kendskab til udviklingen i trafikarbejde og emissionsfaktorer, når emissionsprognoser skal beregnes for vejtrafikken. I mange tilfælde foreligger oplysninger om de to parametre kun på et overordnet niveau. Trafik- og emissionsdata skal derfor tit brydes ned ved en række opsplittings- og justeringer, før den endelige prognose kan beregnes indenfor prognosens relevante køretøjskategorier.

En given køretøjskategoris årlige trafikarbejde er summen af alle køretøjernes årskørsel, der varierer, alt efter hvor gamle køretøjerne er. Antallet af køretøjer fordelt på alder bestemmes ud fra bestandsdata for historiske år og årskørselens fordeling på alder og kørselsforhold beskrives ud fra tilgængelig trafikstatistik. Både antallet af køretøjer og årskørslen fremskrives videre i prognoseperioden efter nærmere fastlagte principper og giver prognoseårenes trafikarbejde. Ved fremskrivningen tages højde for nysalg og den forventede skrotning af en given årgang i de enkelte prognoseår.

Oplysninger om emissionsfaktorer skal fremskaffes for køretøjer for hele prognoseperioden. Hvis emissionsfaktorer for nye køretøjer bruges i prognosen, er det også nødvendigt at have kendskab til disse for en periode før prognoseperiodens start. Den normale fremgangsmåde er først at opstille emissionsfaktorerne for hver køretøjskategori på det ønskede detaljeringniveau. Listen af emissionsfaktorer skal gælde for både den historiske periode og den nutidige situation. Derefter nedskrives de nutidige emissionsfaktorer for de enkelte køretøjstyper med forventningerne til fremtidige emissionsnormer.

Til videre brug kan samlede emissionsfaktorer for køretøjskategorien i hvert prognoseår vægtes ud fra bestandstal og årskørsler. En anden mulighed er at bruge emissionsfaktorerne direkte efter alder, motorstørrelse og kørselsforhold i alle prognoseårene.

Emissionsfaktorerne beregnes ikke kun som varmstartsemissionsfaktorer, men skal også justeres for motorslid og emissionerne skal yderligere beregnes for koldstart og fordampning. Den samlede kørsel for hvert køretøj igennem dets levetid bruges til at korrigere emissionsfaktorerne for motorslid, når køretøjet bliver ældre. Korrektionen er især relevant for benzinkøretøjer med katalysator. Emissioner for koldstart og fordampning beregnes ud fra turlængder, oplysninger om udetemperaturer og relevante emissionsfaktorer. Koldstartstillægget afhænger kraftigt af udetemperaturen og er beregningen meget detaljeret, reguleres koldstartstillægget ud fra trafikstatistik om bilers holdetider før start.

Når trafikarbejdet og justerede emissionsfaktorer foreligger på samme niveau som prognosemodellens detaljeringsgrad, kan emissionsprognosen endeligt beregnes som produktet af emissionsfaktorer og trafikarbejde.

6.2 Prognosemodellen TREMOD's beregningsprincip

TREMOD modellen beregner en prognose i flere fordefinerede scenarier for alle den tyske trafiks transportformer i perioden 1980-2020. Vejtrafikkens emissioner beregnes i tre scenarier for hhv. Østtyskland, Vesttyskland og det samlede Tyskland i en basissituation, hvor vedtagne EURO II emissionsnormer inddrages. Scenarierne gentages med den ændring, at de forventede EURO III emissionsnormer tages med i beregningen af de fremtidige emissioner.

For vejtrafikken dækker køretøjskategorierne personbiler, varebiler, tunge køretøjer (sololastbil, lastbil med anhænger og lastbil med sættevogn), turistbusser, rutebusser og tohjulede køretøjer. Køretøjskategorierne er passende underindelt i strata som beskrevet i afsnit 4.1.1. Som udgangspunkt for prognosen bruger TREMOD emissionsfaktorer beregnet af WB samt trafik- og bestandsdata fundet ved en grundig kortlægning af den tyske trafik.

Prognosen beregnes for emissionskomponenterne CO, NMVOC, CH₄, NO_x, partikler, CO₂, SO₂, bly og benzen samt energiforbruget for varmstart og koldstart samt NMVOC ved fordampning. I prognosen tages også hensyn til hældningen af vejnettet og tunge køretøjers lastegrader. Emissionerne beregnes for trafikens fordeling på trafiksituationerne, der er angivet i afsnit 4.1.2. De ekstra emissioner for koldstart opgøres ud fra årets fordeling af udetemperaturer og bilerens holdetider før start.

TREMOD er i tre dele, en basisdatadel, en scenariedel og en resultatdel. Basisdatadelen indeholder grunddata, f. eks. emissionsfaktorer, som modellen bruger. Scenariedelen er inddelt i fem moduler, der trin for trin tilpasser de indlæste data til brug for den endelige pro-

gnoseberegning. Alle data for emissioner, trafik og bestand er indlæst fra modeludviklernes side. Det er ikke muligt for en bruger at ændre på disse eller selv at indlæse egne data.

Første modul inddeler den virkelige bilpark i en modelbestand. Køretøjerne inddelles i segmenter forstået som kombinationer af drivmiddel og motorstørrelse eller totalvægt for tunge køretøjer. Segmenterne opstilles for hvert referenceår (beregningsår) i modellen. Tal for nysalg af køretøjer og overlevelseskurver for køretøjer i trafikken fastlægger antallet af køretøjer i de fremtidige prognoseår.

Det næste skridt er yderligere at tilpasse modelbestanden beregnet i modul 1. Dette sker i modul 2. Her inddelles segmenterne for hvert referenceår i strata. Strata er den mest detaljerede opdeling for køretøjer med samme emissionsforhold eller energiforbrug, se tabel 3.2. For hvert referenceår angives også pr. strata fordelingen af kørslen i by, på land og på motorvej samt den gennemsnitlige årskørsel og lastegraden for tunge køretøjer.

Kørslen på de tre ovenfor nævnte vejtyper bliver afviklet i forskellige trafiksituationer i modellen, jf. tabel 4.3. I modul 3 bliver den samlede kørsel pr. trafiksituation og hældning af vejnettet beregnet i hvert referenceår for alle køretøjskategorier. Antallet af start og stop bliver også beregnet for person- og varebiler ud fra den gennemsnitlige årskørsel og turlængde. Oplysningerne bruges til beregning af emissionerne ved koldstart og fordampning.

I fjerde modul korrigeres emissionsfaktorer for fremtidige prognoseår ud fra basisemissionsfaktorerne i WB. Som udgangspunkt er emissionsfaktorerne for varmstart, koldstart og fordampning indlæst i TREMOD som basisemissionsfaktorer, der nedskrives til fremtidige prognoseår ud fra procentreguleringen i tabel 4.4. Katalysatorbilernes emissionsfaktorer korrigeres også for slid på motor og katalysator i prognoseperioden. Udgangspunktet er en kilometerstand på 48.000 km, hvorudfra emissionsfaktorerne justeres med forværrelsesfaktorer i overensstemmelse med den samlede kørsel i bilernes levetid.

En beskrivelse af det konkrete scenarie TREMOD beregner, er indlagt i modul 5. Her er blandt andet opstillet fordelinger af omgivelsestemperaturen, i hvor lang tid køretøjerne holder stille og turlængden. Til brug for beregningen i dette scenarie er blandt andet også angivet hvilke flåde-, trafik- og emissionskorrektionsdefinitioner (opbygget i modul 2, 3 og 4), der skal bruges. I vejscenariet beregnes trafikarbejdet, antal start og stop, bestand, energi og emissioner for henholdsvis hver køretøjskategori, strata, energi- eller emissionsart, vejtype og referenceår.

I tredje del af modellen kan resultater for trafik, bestand, emissioner og energiforbrug ses for de seks scenarier TREMOD beregner. Først vælges det scenarie, som resultater ønskes vist for. Det er muligt at udvælge en eller flere emissionskomponenter til visning. På samme måde kan prognoseresultaterne vises for en given køretøjskategori eller for udvalgte strata. Det kan også vælges kun at vise prognoseresultaterne for en begrænset del af prognoseperioden 1980-2010.

Emissionerne kan vælges som enten varme, kolde eller som fordampning ved stop og tankånding. Der er samtidig mulighed for at vise resultater for trafikarbejdet og emissioner opgjort efter drivmidler, motorstørrelser og totalvægt fordelt på by, land og motorvej. Trafikresultaterne vises også som trafik- eller transportarbejdet i alle prognoseårene.

6.3 BILEMIS prognosemodellens beregningsprincip

BILEMIS modellen kan beregne en emissionsprognose for årene 1980-2010 for personbiler (benzin og diesel), varebiler (benzin og diesel) og givne kategorier af tunge køretøjer (lastbiler og busser). Prognosen dækker emissionskomponenterne CO, VOC, NO_x og partikler samlet for koldstart og varmstart samt emissionerne ved fordampning. En ny BILEMIS emissionsprognose er beregnet af Winther og Ekman (1998) i et arbejde sideløbende med dette projekt. Som baggrund for prognosen bruges trafik- og bestandsdata fra Vejdirektoratet og basisemissionsdata fra COPERT modellen, der justeres til prognosebrug af DMU og Miljøstyrelsen.

Input til modellen er antallet af årlige nyregistreringer, gennemsnitlige levetider, det årlige trafikarbejde og nye køretøjers basisemissionsfaktorer ved kørsel i by og på land. Forværrelsesfaktorer og oplysninger om udetemperaturer for vinter, forår/efterår og sommer skal også specificeres foruden gennemsnitlige turlængder og trafikfordelingen for by- og landkørsel.

Ved modelberegningen kombineres trafik- og bestandsdata med basisemissionsfaktorer for nye køretøjer i prognoseperioden. Først beregnes for hvert prognoseår et trafikarbejde per køretøjsalder af BILEMIS. Beregningen udføres ud fra en fast årskørselsnøgle angivet ved førsteregistreringsår samt oplysninger om antallet af nyregistrerede køretøjer og deres gennemsnitlige levetider, der justerer en indlagt overlevelseskurve. I næste trin skaleres det beregnede trafikarbejde med det specificerede input, så det specificerede trafikarbejde ligger til grund for prognosen.

Når trafikarbejdet for hvert prognoseår er fordelt på køretøjernes førsteregistreringsår, multipliceres med basisemissionsfaktorerne. Faktorerne gælder for nye køretøjer, der starter med kold motor ved 20°C. I modellen skal basisemissionsfaktorerne derfor korrigeres for motorslid og koldstart (afhængig af temperatur) som en del af beregningsgangen.

Kompensationen for motorslid sker ved at regne forværrelsesfaktorer ind i basisemissionsfaktorerne for benzinpersonbiler og -varebiler. Forværrelsesfaktorerne er et udtryk for, hvor meget basisemissionsfaktorerne stiger, når køretøjerne har kørt 80.000 km. De forøgede emissioner ved koldstart beregnes som et tillæg til basisemissionsfaktoren. Tillægget beregnes som den temperaturafhængige overemission, når motoren er kold, delt med den gennemsnitlige turlængde.

I BILEMIS beregnes fordampningsemissionerne for benzinpersonbiler og -varebiler i tre situationer; under kørsel (running loss), når

motoren netop er slukket (soak) og tankånding (diurnal). Fordampningen under kørsel og åndingstabet beregnes kun for biler uden katalysator. Fordampningsemissionerne er i høj grad afhængige af den øjeblikkelige udetemperatur og beregnes af denne grund for hver time i året. I modellen justeres de specificerede gennemsnitlige udetemperaturer med generelle temperaturkurver for timetemperaturer per døgn og for døgnmiddeltemperaturer per år.

Emissionsfaktorerne for de tre fordampningstyper ligger fast i BILEMIS. I alle faktorer indgår brændstoffets fordampningstryk. Fordampningen under kørsel beregnes ved at kombinere emissionsfaktoren med den samlede kørsel for hvert prognoseår. Stopemissionen beregnes ud fra antallet af ture, der bestemmes som den samlede kørsel delt med den gennemsnitlige turlængde. Udover brændstoffets fordampningstryk afhænger åndingstabet i BILEMIS af summen af temperaturstigningerne over døgnnet og brændstoffets maksimumtemperatur.

6.4 Sammenligning af TREMOD og BILEMIS modelmetoderne

Som udgangspunkt er TREMOD modellen i sin opbygning væsentlig mere detaljeret end BILEMIS. Selvom om kun modeludviklerne kan læse data ind i modellen, har programmørerne skabt plads til en stor mængde variable, der i mange tilfælde er af relevans for prognosens præcision. I tabel 6.1 er gentaget, hvordan BILEMIS og TREMOD håndterer fremskrivninger af trafik- og bestandsdata samt emissionsfaktorer i prognoseberegningen. Ud fra de to modellens fordele og ulemper diskuteres i det efterfølgende afsnit, hvad en dansk emissionsprognosemodel kræver.

Tabel 6.1 Principliste bag BILEMIS og TREMOD modelopbygning og beregningsmetode

BILEMIS	TREMOD
Separat prognose for CO, VOC, NO _x og partikler pr. køretøjskategori defineret af brugeren.	Samlet prognose for hele vejtrafikkens emission af CO, NMVOC, CH ₄ , NO _x , partikler, CO ₂ , SO ₂ , bly og benzen samt energiforbruget.
Nysalg og gennemsnitlig levetid for hvert førsteregistreringsår kan indlæses. Sammen med en overlevelseskurve i modellen fastlægges den fremtidige bilpark.	Nysalg og overlevelseskurver for hvert førsteregistreringsår er fastlagt i modellen pr. segment. Dette fastlægger den fremtidige bilpark.
Trafikarbejdet pr. prognoseår skal indlæses. Det fordeles ud på årskørsler pr. køretøjsalder af modellen efter en fast procentskala.	Trafikarbejdet pr. segment fordeles på gennemsnitlige årskørsler pr. strata af modellen efter en fast procentskala.
Den videre fordeling skal specificeres på: trafikarbejdet by og land; gennemsnitlig turlængde for by og land.	Årskørslerne fordeles i trin videre ud på; by, land og motorvej; trafiksituation; vejhældning og lastegrader (tunge køretøjer) af modellen efter en fast procentskala.
Emissionsfaktorer specificeres som basisfaktorer for nye køretøjer og kold motor ved 20°C igennem prognoseperioden. Forværrelsesfaktorer for benzinkøretøjer specificeres. Fast temperaturkurve for hhv. døgnvariation og årsvariation ligger i modellen. Middeltemperaturer skal indlæses til forskydning af disse.	Emissionsfaktorer for varmstart, koldstart og fordampning beregnes med WB for alle strata. Katalysatorbilers emissionsfaktorer justeres af modellen for motorslid.
Varmemissionen beregnes af modellen i hvert prognoseår for by- og landkørsel som produktet af regulerede emissionsfaktorer og årskørslen.	Turlængder (med holdetider) fordeles på døgnets tidspunkter hele året. Temperaturer fordeles ud på døgnnet og året af modellen.
Alle ture regnes som kolde. Hver tur tildeles en fast koldeemission afhængig af udetemperatur. Fordampningen beregnes ud fra årskørsel, turantal og udetemperaturens variation.	Varmstartemissionerne beregnes af modellen pr. strata ved at kombinere regulerede emissionsfaktorer og årskørsel for trafiksituationer.
	Koldstarts- og fordampningsemissionerne beregnes af modellen for personbiler og varebiler ud fra fordelingen af holdetider, turlængder og tidspunkt pr. time i hele året.

I modsætning til TREMOD modellen kan BILEMIS beregne en emissionsprognose for separate køretøjskategorier, der defineres af brugeren. Dette er et godt og nødvendigt udgangspunkt for prognoser, der også skal benyttes til at belyse emissionsbelastningen ved forskellige alternative trafikudviklinger. Beregningerne begrænses i BILEMIS til interessante køretøjskategorier og er ikke som i TREMOD's tilfælde bundet af udviklinger i trafik, bestand og emissionsfaktorer, der kun kan ændres af modeludviklerne.

Energiforbruget (og afledte CO₂ og SO₂ emissioner) er ikke medtaget i BILEMIS modellen, men skal inddrages i en tidssvarende emissionsprognose for Danmark. TREMOD er mere detaljeret m.h.t. antallet af emissionskomponenter og benzenemissionen vil være interessant at bestemme for den danske trafik. Blyemissionen er ikke længere et problem i Danmark med skiftet til andre brændstofadditiver.

Både i BILEMIS og TREMOD fastlægges den fremtidige bilpark af data for nysalg, gennemsnitlige levetider og overlevelseskurver. I BILEMIS kan nysalg og gennemsnitlige levetider specificeres, mens overlevelseskurven ligger fast. I TREMOD er alle tre udviklinger fastlagt fra begyndelsen. Behovet for en prognosemodel er at kunne specificere både nysalg, gennemsnitlige levetider og overlevelseskurverne, da disse er essentielle parametre, når emissionerne skal bestemmes for vilkårlige trafikudviklinger.

I BILEMIS modellen skal det samlede trafikarbejde for alle prognoseårene specificeres, hvorefter det fordeles ud på køretøjsalder efter en fast skala. For en bruger er det vigtigt at kunne bestemme trafikarbejdet fra prognose til prognose, men det bør også være muligt at kunne specificere kørselsfordelingen ud på køretøjsalder, når der foreligger viden om dette. Specificerede procentsatser fordeler årskørslen ud på by- og land kørsel, der bestemmer valget af emissionsfaktorer. Danske trafikdata er tilgængelige fordelt både på by, land og motorvej. Det er derfor ønskeligt, at en dansk prognoseberegning tager udgangspunkt i trafikken opdelt på disse tre vejtyper.

TREMOD modellen fordeler trafikarbejdet pr. segment ud på årskørsler pr. strata. I næste trin fordeles årskørslerne videre ud på by-, land- og motorvejskørsel. Herefter gøres inddelingen videre i trafiksituationer og vejhældninger samt lastegrader for tunge køretøjer. Hvad angår trafikken og dens underinddeling, er TREMOD meget detaljeret. En dansk prognose ville blive yderligere præcis, hvis brugeren selv kunne foretage inddelingerne efter denne metode.

Visse ting skal dog bemærkes om TREMOD's detaljeringsgrad. I afsnit 4.4 er det anført, at brugen af trafiksituationer, som emissionsparameter kun sjældent kan anbefales. Det er svært at skaffe data til sådan en trafik kategorisering, og når tilstrækkeligt mange trafiksituationer bruges, vil emissionsresultatet alligevel nærme sig resultatet for gennemsnitlige rejsehastigheder. Specielt i TREMOD modellen er trafiksituationerne fundet for tyske og schweiziske forhold, der kan være forskellige for den danske trafik. Også vejhældningen er unødvendig som emissionsparameter i en dansk prognose pga. af landets topografi.

Emissionsfaktorer for nye køretøjer ved koldstart og udetemperaturen 20^BC skal specificeres i BILEMIS i hele prognoseperioden for by- og landkørsel. Benzinkøretøjernes emissionsfaktorer justeres for slid på motor og katalysator med specificerede forværrelsesfaktorer afhængigt af køretøjernes i alt kørte km. TREMOD modellen tager udgangspunkt i varme emissionsfaktorer per strata i hver trafiksituation, og justerer som BILEMIS katalysatorbilers emissionsfaktorer for forværrelse ud fra den samlede kørsel.

En dansk emissionsprognoseberegning bør som TREMOD tage udgangspunkt i varme emissionsfaktorer, der skal kunne specificeres i modelkørslen. Justeringen af katalysatorbilers forværrelse skal også kunne gøres. På denne måde kan opdateret viden om emissions- og forværrelsesfaktorer tages i brug og effekten af ændringer vurderes i forskellige scenarieberegninger.

Til brug for emissionsberegningerne specificeres en gennemsnitlig turlængde for by- og landkørsel i BILEMIS. Sammen med procentsatsen bestemmer turlængden turantallet og antallet af kørte km, der kobles til de relevante varme emissionsfaktorer. Ved koldstarts- og fordampningsberegningen bruges turantallet. Overemissionen ved koldstart som funktion af udetemperatur ligger fast i modellen, og antallet af ture fordeles ligeligt ud på året.

Koldstartsberegningerne er mere detaljerede i TREMOD. Her inddrages fordelingen af holdetider, turlængder og tidspunkt pr. time i hele året (udetemperatur) til at forfine emissionsberegningen. En dansk prognosemodel bør kunne specificere data for koldstartsemissioner og turfordelinger og i øvrigt bruge den nyeste viden om koldstartsemissioner. Tages der højde for udetemperaturen, turlængden og holdetidens indvirkning på overemissionen, vil emissionseffekten af turomlægninger kunne belyses mere præcist, jf. afsnit 5.4.

6.5 Emissionsfaktorer fremskrevet til prognoser

Udviklingen i trafikarbejde og emissionsfaktorer fastlægger i grundtræk en emissionsprognoses forløb. For prognosens relevante køretøjskategorier skal trafikarbejdet inddelt efter køremåder kendes i hvert prognoseår, og sideløbende skal tilpassede emissionsfaktorer opstilles. Produktet af de sammenhørende trafikarbejder og emissionsfaktorer summeres op og resultatet bliver den samlede emissionsprognose.

I dette afsnit forklares, hvordan emissionsfaktorer bliver fremskrevet til prognoseberegninger i bl.a. ALTRANS projektet for personbiler (Christensen m.fl., 1998). Det berøres også kort, hvordan fremskrivningen af emissionsfaktorer forløber for varebiler, lastbiler og busser. Der gøres også status for arbejdet med at opbygge en ny dansk prognosemodel.

I ALTRANS beregnes CO-, VOC-, NO_x-, partikel- og CO₂-emissionsfaktorerne samt energiforbruget i varm tilstand og de ekstra emissioner fra personbiler og varebiler, når motoren er kold. Faktorerne beregnes i alle prognoseårene opdelt efter bilernes driv-

middel, motorstørrelse og førsteregistreringsår. Benzinkøretøjernes emissionsfaktorer justeres for slid på motor og katalysator.

6.5.1 Emissionsfaktorer for varmstart

Som udgangspunkt tages køretøjskategoriernes varme emissionsfaktorer fra COPERT II. I COPERT er trafikens køretilstande indbygget på den måde, at emissionsfaktorerne repræsenteres ved rejsehastigheder.

Alderskategorierne i grupper efter førsteregistreringsår er vist i tabel 6.2 og 6.3 for hhv. personbiler og vejtrafikkens øvrige køretøjskategorier.

Table 6.2 Inndeling af personbilparken i alderskategorier

Kategori	Størrelse	Emissionsregulativ	Årgang
Personbiler	< 1,4 l. benzin	PRE ECE	før 1970
		ECE 15/00-01	1970-1978
		ECE 15/02	1979-1980
		ECE 15/03	1981-1985
		ECE 15/04	1986-31.09.1990
		EURO I	1.10.1990-1996
		EURO II	1997-2000
		EURO III	2001-2005
	1,4-2,0 l. benzin	PRE ECE	før 1970
		ECE 15/00-01	1970-1978
		ECE 15/02	1979-1980
		ECE 15/03	1981-1985
		ECE 15/04	1986-31.09.1990
		EURO I	1.10.1990-1996
		EURO II	1997-2000
		EURO III	2001-2005
	> 2,0 l. benzin	PRE ECE	før 1970
		ECE 15/00-01	1970-1978
		ECE 15/02	1979-1980
		ECE 15/03	1981-1985
		ECE 15/04	1986-31.09.1990
		EURO I	1.10.1990-1996
		EURO II	1997-2000
		EURO III	2001-2005
	< 2,0 l. diesel	Konventionel	Før 1.10.1990
		EURO I	1.10.1990-1996
		EURO II	1997-2000
		EURO III	2001-2005
		EURO IV	2006 og frem
	> 2,0 l. diesel	Konventionel	Før 1.10.1990
		EURO I	1.10.1990-1996
		EURO II	1997-2000
EURO III		2001-2005	
EURO IV		2006 og frem	

Tabel 6.3 Inddeling af varebiler, lastbiler, busser og motorcykler i alderskategorier

Kategori	Størrelse	Emissionsregulativ	Årgang	
Varebiler	Benzin	Konventionel	Før 1.10.1994	
		EURO I	1.10.1994-1998	
		EURO II	1999-2001	
		EURO III	2002-2005	
		EURO IV	2006 og frem	
	Diesel	Konventionel	Før 1.10.1994	
		EURO I	1.10.1994-1998	
		EURO II	1999-2001	
		EURO III	2002-2005	
		EURO IV	2006 og frem	
Lastbiler	Benzin > 3,5 t.	Konventionel		
	Diesel 3,5-7,5 t.	Konventionel	Før 1.10.1993	
		EURO I	1.10.1993-31.09.1996	
		EURO II	1.10.1996-2000	
		EURO III	2001-2004	
		EURO IV	2005 og frem	
		Diesel 7,5-16 t.	Konventionel	Før 1.10.1993
			EURO I	1.10.1993-31.09.1996
			EURO II	1.10.1996-2000
	EURO III		2001-2004	
	Diesel 16-32 t.	Konventionel	Før 1.10.1993	
		EURO I	1.10.1993-31.09.1996	
		EURO II	1.10.1996-2000	
		EURO III	2001-2004	
		EURO IV	2005 og frem	
		Diesel > 32 t.	Konventionel	Før 1.10.1993
			EURO I	1.10.1993-31.09.1996
			EURO II	1.10.1996-2000
	EURO III		2001-2004	
Rutebusser		Konventionel	Før 1.10.1993	
		EURO I	1.10.1993-31.09.1996	
		EURO II	1.10.1996-2000	
		EURO III	2001-2004	
		EURO IV	2005 og frem	
Turistbusser		Konventionel	Før 1.10.1993	
		EURO I	1.10.1993-31.09.1996	
		EURO II	1.10.1996-2000	
		EURO III	2001-2004	
Knallerter	< 50 cc.	Konventionel	Før 18. august 1999	
		EURO I	18. august 1999	
		EURO II	18. august 2002	
Motorcykler	2-takt > 50 cc.	Konventionel	Før 18. august 1999	
		EURO I	18. august 1999	
	4-takt < 250 cc.	Konventionel	Før 18. august 1999	
		EURO I	18. august 1999	
	4-takt 250-750 cc.	Konventionel	Før 18. august 1999	
		EURO I	18. august 1999	
	4-takt > 750 cc.	Konventionel	Før 18. august 1999	
		EURO I	18. august 1999	

Emissionsfaktorerne for EURO II-IV køretøjerne fremkommer ved at nedskrive EURO I køretøjernes emissionsfaktorer med faste faktorer. Nedskrivningen er foretaget af Miljøstyrelsen og DMU på basis af EU-kommissionens arbejde indenfor emissionslovgivning, se tabel 6.4.

Tabel 6.4 Nedskrivning af EURO I varmemissionen til EURO II-IV

Kategori	Drivmiddel		CO	VOC	NO _x	Partikler
Personbiler	Benzin	EURO I	100	100	100	-
		EURO II	81	54	48	-
		EURO III	69	32	29	-
		EURO IV	30	16	15	-
	Diesel	EURO I	100	100	100	100
		EURO II	70	73	61	57
		EURO III	42	55	48	36
		EURO IV	33	45	24	18
Varebiler	Benzin	EURO I	100	100	100	-
		EURO II	74	42	42	-
		EURO III	63	27	20	-
		EURO IV	28	14	13	-
	Diesel	EURO I	100	100	100	100
		EURO II	70	69	71	68
		EURO III	42	50	51	43
		EURO IV	33	44	26	23
Lastbiler og busser		EURO I	100	100	100	-
		EURO II	89	100	88	42
		EURO III	62	70	61	31
		EURO IV	37	42	37	19

EURO I personbilernes emissionsfaktorer repræsenterer gennemsnitlige faktorer for året 1994, hvor bilerne har kørt omtrent 50.000 km. Varebilernes EURO I emissionsfaktorer repræsenterer en samlet kørsel på omtrent 35.000 km. Katalysatorerne for såvel benzinpersonbiler som -varebiler slides gradvist, jo længere bilerne kører. I de enkelte prognoseår er en justering af emissionsfaktorerne derfor nødvendig i forhold til køretøjernes samlede kørsel.

Oplysninger fra Vejdirektoratet på basis af Danmarks Statistiks årskørselsundersøgelse, se Winther og Ekman (1998), bruges som nøgle for, hvor langt benzinpersonbilerne i alt kører som funktion af alder. Nøglen bruges i alle prognoseårene og fremgår af tabel 6.5. Matematisk kan fordelingsnøglen tilnærmes et 2. gradspolynomium fra køretøjets 0. år til udgangen af køretøjets 17. år. Herefter tilbagelægger køretøjet 12.525 km per år.

Tabel 6.5 Benzinbilernes samlede kørsel som funktion af alder

Alder (år)	Personbiler (km i alt)	Varebiler (km i alt)	Alder (år)	Personbiler (km i alt)	Varebiler (km i alt)
1	27.265	24.641	10	221.326	246.410
2	53.614	49.282	11	238.376	271.051
3	78.311	73.923	12	253.700	295.692
4	102.591	98.564	13	269.024	320.333
5	124.311	123.205	14	284.348	344.974
6	145.538	147.846	15	299.672	369.615
7	166.270	172.487	16	314.996	394.256
8	185.334	197.128	17	327.520	418.897
9	203.660	221.769			

Funktionerne for benzinpersonbilernes samlede kørsel, X_p , som funktion af alderen, Y , er angivet i formel 19 og 20 for benzinpersonbiler, der er hhv. op til 17 år gamle og over 17 år gamle.

$$X_p = -405,033 \cdot Y^2 + 25.800,9 \cdot Y + 4193,95, Y < 18 \quad (19)$$

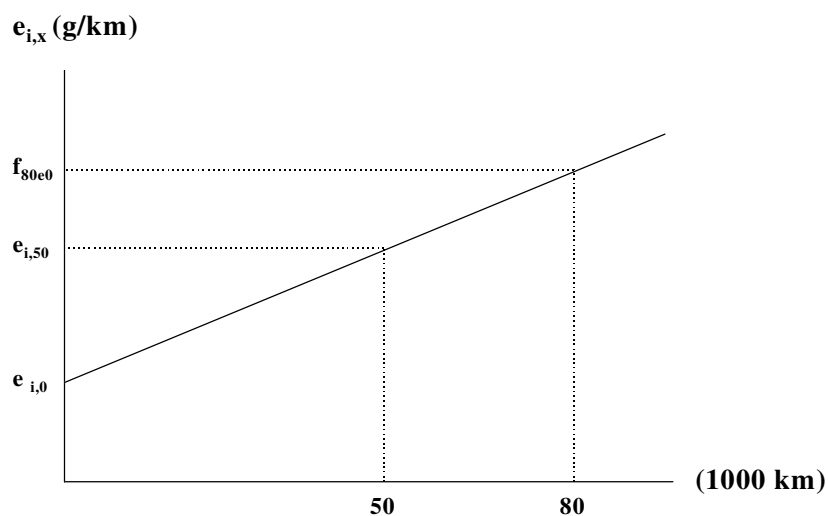
$$X_p = -405,033 \cdot 18^2 + 25.800,9 \cdot 18 + 4193,95 + 12.525 \cdot (p - Y - 18), \quad (20) \\ Y > 17$$

Benzin varebilernes kørsel som funktion af alder er konstant og årskørslen er ud fra årskørselsundersøgelsen opgivet af Vejdirektoratet til 24.641 km.

Varebilernes samlede kørsel, X_v , som funktion af alderen, Y , fremgår af (21):

$$X_v = 24.641 \cdot Y \quad (21)$$

Figur 6.1 viser, hvordan emissionsfaktoren $e_{i,0}$ for en katalysatorbil stiger, når bilens samlede kørsel stiger.



Figur 6.1 Emissionsfaktorens stigning pga. katalysator slid

Emissionsfaktoren ved 50.000 km kørsel, $e_{i,50}$, kendes fra COPERT modellen og forværrelsesfaktoren $f_{i,80}$ udtrykker, hvor meget emissionen stiger for den i 'te emissionskomponent fra 0 til 80.000 km kørsel. Emissionsfaktoren, $e_{i,x}$, ved et givent antal kørte km, X , kan udtrykkes ud fra den rette linie:

$$e_{i,x} = \frac{f_{i,80} - 1}{80.000} \cdot e_{i,0} \cdot X + e_{i,0} \quad (22)$$

Idet f_{80} og emissionsfaktorerne ved 50.000 km kørsel kendes, kan $e_{i,0}$ beregnes som:

$$e_{i,0} = \frac{e_{i,50}}{\frac{(f_{i,80} - 1)}{80.000} \cdot 50.000 + 1} \quad (23)$$

Ved brug af (19) og (20) kan formelen for $e_{i,x}$ til ethvert samlet kilometertal opstilles for hver generation af personbiler udstyret med katalysator, jf. tabel 6.5:

$$e_{i,x} = \frac{e_{i,50}}{(f_{i,80} - 1) \cdot \frac{50.000}{80.000} + 1} \cdot \left(\frac{f_{i,80} - 1}{80.000} \cdot X + 1 \right) \quad (24)$$

Beregningerne forløber på samme måde for benzinvarebiler, hvor kilometertallet 50.000 erstattes med 35.000 i formel 23 og 24. Som forværrelsesfaktorer bruges for CO, VOC og NO_x hhv. 1,49, 1,30 og 1,49 for personbiler og varebiler med katalysator (Niederle, 1998). Forværrelsesfaktorerne er vægtet for varme motorer og koldstart og er anderledes end faktorerne i den nuværende version af WB. Ændringen skyldes, at det nye sæt forværrelsesfaktorer kun er beregnet ud fra EURO I katalysatorbiler. Det forrige sæt (der stadig bruges i den foreliggende WB version), var også beregnet ud fra målinger af katalysatorbilgenerationen, før EURO I trådte i kraft.

Vægtningen mellem koldstart og varmstart i det nye sæt forværrelsesfaktorer medfører, at beregnede varmstartsemissioner og koldstartsemissioner for gamle katalysatorbiler hhv. underestimeres og overestimeres. Forværrelsen stammer mest fra katalysatorslid og kan derfor især registreres på tidspunktet, hvor motoren er varm. De nyeste konventionelle benzinbilens emissionsfaktorer bruges for katalysatorbilerne, når katalysatorbilernes emissionsfaktorer, efterhånden som katalysatorerne bliver slidt, er steget til dette niveau.

6.5.2 Overemissioner ved koldstart

De ekstra emissioner ved koldstart for personbiler og varebiler afhænger som varmmissionerne af bilernes førsteregistreringsår, drivmiddel, motorstørrelse og katalysatorslid samt køremåden, men derudover har turlængden, holdetiden og udetemperaturen også en indflydelse. Overemissionerne beregnes med WB og som basiskøremønster bruges et bykøremønster med en gennemsnitshastighed på 37,2 km/h, jf. afsnit 5.1. Brugen af bykøremønstret afspejler, at de fleste ture der startes med kold motor køres i byen.

Emissionerne findes, når bilerne har kørt hhv. 1, 2, 3, 4 og over 4 km frem til, når bilens motor er helt varm. Dette gentages for de tilfælde, hvor bilerne har stået stille i hhv. 0-1, 1-2 osv. frem til over 8 timer. I den sidste situation regnes bilens motor at være fuldstændig kold. Som udetemperatur bruges et afrundet årgennemsnit ved 10°C. For PRE ECE biler (biler nyregistreret før 1970) og ECE 15/00 biler findes ingen målte koldstartsemissioner i WB, jf. afsnit 6.2. Istedet bruges emissionselementerne for ECE 15/01-02 biler.

Emissionsfaktorerne for EURO II-IV bilerne er fremkommet ved at nedskrive EURO I bilernes emissionsfaktorer med faste faktorer. Udgangspunktet er reguleringsfaktorerne i tabel 4.4 omregnet således, at EURO I normen danner basis. Justeringsfaktorerne er vist i tabel 6.6.

Tabel 6.6 Nedskrivning af EURO I normen til EURO II-IV normerne for personbiler og varebilers koldstart

Kategori	Drivmiddel		CO	VOC	NO _x	Partikler
Personbiler	Benzin	EURO I	100	100	100	-
		EURO II	57	58	50	-
		EURO III	11	12	10	-
	Diesel	EURO I	100	100	100	100
		EURO II	90	90	90	90
		EURO III	90	90	90	90
Varebiler	Benzin	EURO I	100	100	100	-
		EURO II	50	50	50	-
		EURO III	50	50	50	-
	Diesel	EURO I	100	100	100	100
		EURO II	90	90	90	90
		EURO III	90	90	90	90

Overemissionerne gælder for en 1994 situation, hvor katalysatorbilerne i gennemsnit har kørt 50.000 km. Som for varme emissioner afhænger katalysatorbilernes koldstartsoveremissioner også af, hvor langt bilerne i alt har kørt. Justeringsprincippet er det samme som gennemgået for varmemissioner. Overemissionen $E(s, h)$ af den i 'te emissionskomponent per gennemkørt strækning, s , og holdetid, t , for hver generation af katalysatorbiler og de tre motorstørrelser fås som:

$$E_{i,X}(s, h) = \frac{E_{i,50}(s, h)}{(f_{i,80} - 1) \cdot \frac{50.000}{80.000} + 1} \cdot \left(\frac{f_{i,80} - 1}{80.000} \cdot X + 1 \right) \quad (25)$$

Den i alt kørte strækning, X , fås af formlerne 19 og 20 og de samme forværrelsesfaktorer, f_{80} , bruges som ved varmemissionsberegningen. Beregningen forløber ligedan for varebiler, hvor kilometerantallet 50.000 erstattes med 35.000 i formel 25 og kilometertallet X hentes fra formel 21.

En egentlig emissionsprognose kan herefter beregnes på strataniveau for personbiler, varebiler, lastbiler og busser hvis trafikarbejdet kendes detaljeret nok. For hvert prognoseår beregnes varmemissionerne ved for hvert førsteregistreringsår at multiplicere antallet af køretøjer og deres årskørsel med de tilhørende emissionsfaktorer. Antallet af køretøjer indenfor hver kategori skal opstilles ud fra prognoser for nysalg eller prognoser for den samlede bilpark og overlevelseskurver for bilerne. Prognoser for trafikarbejdet skal sammen med antallet af køretøjer indenfor hver køretøjskategori fastlægge årskørslen, der også skal fordeles ud på køremåder.

Fordelingen af trafikarbejdsprognosen ud på bilparken i årskørsler efter førsteregistreringsår, drivmiddel og køremåde er stadig upræcis. Der skal i prognosesammenhæng arbejdes videre med at modellere denne nærmere, når TU-data bliver forbedret med oplysninger herom. Indtil bedre viden er fremskaffet, kan elementer af Vejdirektoratets trafikarbejdsfordeling bag BILEMIS prognosen (Winther og Ekman, 1998) bruges. Fra Vejdirektoratets oplysninger kan det samlede trafikarbejde per prognoseår fordeles ud på førsteregistreringsår og køremåder.

I emissionsprognosen skal koldstartsemissionerne for personbiler og varebiler beregnes som summen af overemissioner per tur, der beskrives ved turlængden, holdetiden og tidspunktet (udetemperaturen).

I forbindelse med udviklingen af ALTRANS trafikprognosen er en detaljeret prognose for turudviklingen fordelt på turlængde, holdetid og tidspunkt (udetemperatur) under udvikling. I forbindelse hermed mangler endnu at blive udarbejdet en metode til at fordele turudviklingen ud på førsteregistreringsår, drivmiddel og motorstørrelse. Alt taget i betragtning er de fornødne data og metoder til udvikling af en dansk prognosemodel egnet til scenarieberegninger tæt på at kunne realiseres.

Referencer

Ahlvik, P. et al. (1997). *COPERT II Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport - Methodology and Emission Factors - (Final Draft Report)*. Document EEA/???/97, Det Europæiske Miljøagentur, København.

ALTRANS (1999). Hovedrapport til ALTRANS projektet (endnu u-publiceret).

CORINAIR working group on emission factors for calculating 1990 emissions from road traffic (1993). *Volume 1: Methodology and emission factors*. ISBN 92-826-5771-X, Commission of the European Communities, Brussels.

FEA (Federal Environmental Agency) (1995). *Workbook on Emission Factors, Explanatory Notes*. Version 1.1/"Germany", FEA, Berlin, October 1995.

Hansen, J.Q. & Winther, M. (1993). Kørecyklens indflydelse på emissionen. PE 93-10, Laboratoriet for Energiteknik, Lyngby.

Hansen, J.Q., Winther, M., Sorenson, S.C. (1995). *The influence of driving patterns on petrol passenger car emissions*. The Science of the Total Environment 169, 129-139.

Hassel D., Jost P., Weber F.-J., Dursbeck F., Sonnborn K.-S., Pletttau D. (1993). *Exhaust Emission Factors for Heavy Duty Vehicles in the Federal Republic of Germany for the Reference year 1990*. Final Report of a Study Carried Out on Behalf of the Federal Environmental Protection Agency, UFOPLAN Nr. 104 05 151/2, TÜV Rheinland.

Hausberger, S., Sams, T., Sturm, P.J. (1994). *KEMIS - Programm zur Simulation von Streckenbezogenen Abgasemissionen des Strassenverkehrs*. Programmbeschreibung, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Technische Universität Graz, Graz.

IFEU (1997). *Dokumentation af TREMOD*. version 0.9 BETA fra 12. marts 1997.

Jensen, S.S.(1992). *Køremønstre og luftforurening - i provinsen*. Rapport nr. 105, Vejdirektoratet, København.

Keller, M., Evéquo R., Heldstab J., Kessler H. (1995). *Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950-2010*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 255 des BUWAL, Bern (også tilgængelig på fransk).

Krawack S. (1991). *Luftforurening fra individuel og kollektiv trafik*. Miljøprojekt nr. 165, Miljøstyrelsen, København.

Management Committee COST 319 (1995a). *Estimation of pollutant emissions from transport*. Working Group A2 and A3 Final Report of the German PC Emission Factor Project, EUCO-COST/319/1/95 VII/016/95, Brussels, January 1995.

Management Committee COST 319 (1995b). *Emission Factors for Commercial Vehicles*. EUCO-COST/319/2/95 VII/46/95, Brussels, January 1995.

Niederle, W. (1998). *Pers. Comm. med Werner Niederle*. UBA Berlin, d. 7/7 1998.

Samaras et al. (1997). *Methodologies For Estimating Air Pollutant Emissions From Transport - Average Hot Emission Factors for Passenger Cars and Light Duty Trucks*. Task 1.2/Deliverable 7, LAT Report No: 9716, Thessaloniki.

Schramm, J. og Sorenson, S.C. (1990). *BILEMIS - En prognosemodel til beregning af køretøjsmissioner*. Rapport RE 91-1, Laboratoriet for Energiteknik, Lyngby.

Sorenson, S.C. (1992). *Emissions from 3 passenger cars at high speeds*. Rapport RE 92-3, Laboratoriet for Energiteknik, Lyngby.

Sorenson, S.C. and Schramm, J. (1992). *Individual and Public Transportation - Emissions and Energy Consumption Models*. Rapport RE 91-5, Laboratoriet for Energiteknik, Lyngby.

Sturm, P.J., Pucher, K., Sudy, C., Almbauer, R. (1994). *Determination of Motor Vehicle Emissions as a Function of the Driving Behaviour*. Proceedings of the International Conference. "The Emission Inventory: Perception and Reality", Pasedena ,California, publication VIP-38, Air & Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania, pp. 483-494.

Trafikministeriet (1996). *TEMA - En brugermodel for transporters emissioner*. Dokumentationsrapport, København.

Transportvaneundersøgelsen (1999). *Endnu upubliceret metodebeskrivelse i bilag til ALTRANS hovedrapport*. Grunddata indsamlet af Danmarks Statistik og viderebearbejdede data forefindes på DMU.

Vejdirektoratet (1998). *Hastighedsrapport*. Under udarbejdelse.

Wegerer, M. (1990). *Ermittlung von Kennfeldern Zur Berechnung der Abgasmissionen und des Kraftstoffverbrauches von Personenkraftwagen*. Mitteilungen des Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Heft 51, Technisches Universität Graz, Graz.

Winther, M. & Ekman, B. (1998). *Emissioner fra vejtrafikken i Danmark 1980-2010*. Danmarks Miljøundersøgelser. 73 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 256.

Winther, M. (1997). *Analyse af emissionsmodellen "Workbook on Emission Factors for Road Transport"*. Danmarks Miljøundersøgelser. 55 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 54.

Winther, M. (1998). *Emissionsfaktorer fra den danske transportsektor*. Danmarks Miljøundersøgelser. 173 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 78.

Zacharadis, T. (1996). *Review of Motor Vehicle Emission Models and their Application in a European Context: Accomplishments and Further Needs*.

LAT Report 9601, Laboratory of Applied Thermodynamics, Thessaloniki.

Bilag

Tabel 1

	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
< 1970	12,5	19,1	9,6	8,0	14,5	7,7	9,0	14,0	60,0	6,8	11,5	5,0
1970					30,0							
1971	26,1		12,0	16,5	9,4			39,3				
1972	36,5		1,0		4,3	7,0			11,3	12,6	22,0	3,7
1973	8,7	6,0	23,3		30,0		8,9	1,0	12,7	10,1		
1974	9,8			6,0	11,0	45,0	10,0		18,0	3,6	24,0	17,0
1975		2,0	6,3	1,0	6,8		15,0	40,6	17,2	10,4	8,2	15,4
1976	1,5	5,5	10,0	25,8	5,1	28,3		19,3	4,0	9,9	18,0	13,1
1977	6,2	2,8	11,9	9,7	5,0	7,8	4,0	6,6	10,6	8,4	10,3	12,8
1978	14,4	6,9	19,0	35,9	12,1	11,4	15,7	7,4	10,0	10,5	4,0	6,9
1979	10,0	10,0	13,8	10,9	8,9	6,0	13,5	7,9	9,4	21,8	11,0	16,1
1980	10,2	8,6	16,6	17,4	9,4	10,9	6,8	10,5	8,6	13,3	13,1	11,2
1981	16,1	7,4	6,8	8,4	22,2	10,1	5,0	22,0	8,6	11,1	41,3	32,1
1982	11,6	12,8	10,8	14,5	9,7	19,4	12,1	12,6	7,9	14,4	13,0	21,5
1983	12,5	15,0	12,8	15,4	11,0	15,2	10,1	15,7	11,4	10,9	9,6	16,6
1984	9,7	17,0	10,5	14,5	16,3	10,3	11,4	13,0	12,0	15,2	12,3	15,6
1985	9,1	13,5	13,8	10,6	11,0	13,7	15,9	14,0	14,4	14,9	13,3	12,0
1986	12,7	16,7	13,8	15,2	10,5	14,1	17,3	14,0	12,2	13,2	11,9	12,4
1987	12,1	13,3	11,2	13,4	12,5	13,5	15,2	18,3	14,7	13,3	14,9	11,8
1988	14,4	19,8	10,5	16,3	15,1	18,3	18,3	13,6	15,7	13,4	9,1	8,5
1989	17,4	14,8	11,5	13,7	12,5	17,9	20,2	15,6	13,1	7,3	18,9	16,7
1990	10,1	17,8	19,5	13,6	13,8	15,9	18,6	12,8	10,4	14,2	14,7	24,4
1991	14,8	13,0	18,0	13,3	9,8	27,4	20,4	13,9	20,2	14,5	13,6	11,0
1992	10,4	14,9	13,4	16,3	11,6	16,2	16,2	14,2	17,3	19,2	17,7	18,7
1993	11,4	16,9	11,8	12,5	20,3	14,8	28,8	16,2	11,7	13,3	12,5	11,7
1994	14,3	14,5	18,1	13,4	14,7	21,3	22,6	16,4	18,9	12,7	15,4	15,0
1995	11,6	18,5	12,8	15,2	14,7	16,4	16,9	12,2	17,2	12,6	16,0	12,5
1996		14,1	12,6	17,8	26,8	13,4	24,1	17,7	16,1	13,3	15,7	19,5

Tabel 2

	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
< 1970	28	10	5	8	10	6	4	4	4	4	4	8
1970					1							
1971	14		1	8	7			3				
1972	6		2		3	2			6	5	2	3
1973	9	6	6		2		7	2	3	7		
1974	26			13	7	2	5		2	16	7	8
1975		2	12	2	9		4	12	5	10	10	9
1976	4	4	4	13	15	8		8	4	13	12	13
1977	10	16	15	12	8	9	10	13	14	5	8	10
1978	54	40	30	26	24	14	20	19	4	16	10	37
1979	46	31	32	60	31	33	15	22	21	12	25	17
1980	22	25	17	19	25	32	8	30	17	21	10	39
1981	30	42	12	38	18	29	18	20	30	20	10	9
1982	82	43	29	46	39	21	27	33	42	44	22	32
1983	74	60	77	56	41	50	37	73	66	44	37	67
1984	138	72	141	104	103	115	77	111	100	71	90	92
1985	168	106	138	207	83	94	115	77	105	116	98	159
1986	209	173	164	200	203	118	156	197	190	148	209	217
1987	176	117	87	123	125	127	91	107	123	104	99	92
1988	145	85	98	122	92	69	81	115	78	103	83	115
1989	61	73	83	81	94	65	53	105	80	86	105	71
1990	116	73	78	135	103	95	68	74	91	109	91	59
1991	105	107	79	113	81	62	62	108	83	66	87	125
1992	129	109	110	137	55	85	81	92	94	90	80	109
1993	161	105	97	143	90	127	84	126	126	147	98	135
1994	158	166	157	224	153	163	123	157	138	174	145	133
1995	242	210	189	212	226	130	90	164	148	196	169	177
1996		17	71	71	54	98	51	93	113	129	164	142

Tabel 3

		Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.
CO	< 1970	290,1	363,1	290,1	224,1	165,2	113,3	113,3	68,5	165,2	165,2	224,1	290,1
	1970-1980	190,4	234,4	188,6	143,0	107,1	70,6	74,7	44,0	105,7	109,2	145,6	188,6
	1981-1985	179,8	225,1	179,8	138,9	102,4	70,3	70,3	42,5	102,4	102,4	138,9	179,8
	1986-1990	97,9	122,6	97,9	75,7	55,8	38,3	38,3	23,1	55,8	55,8	75,7	97,9
	1991-1996	49,5	56,1	49,3	43,2	37,3	32,0	32,1	27,1	37,4	37,3	43,0	49,3
VOC	< 1970	16,7	20,9	16,7	12,9	9,5	6,5	6,5	3,9	9,5	9,5	12,9	16,7
	1970-1980	13,2	16,6	13,2	10,2	7,5	5,1	5,2	3,1	7,5	7,5	10,2	13,2
	1981-1985	13,2	16,5	13,2	10,2	7,5	5,1	5,1	3,1	7,5	7,5	10,2	13,2
	1986-1990	10,6	13,2	10,6	8,2	6,0	4,1	4,1	2,5	6,0	6,0	8,2	10,6
	1991-1996	7,0	7,7	7,0	6,3	5,6	5,0	5,0	4,4	5,6	5,6	6,3	7,0
NOx (g)	< 1970	1,09	1,42	1,09	0,79	0,53	0,30	0,30	0,11	0,53	0,53	0,79	1,09
	1970-1980	1,03	1,32	1,02	0,73	0,50	0,27	0,29	0,10	0,49	0,51	0,74	1,02
	1981-1985	0,99	1,29	0,99	0,72	0,48	0,27	0,28	0,10	0,48	0,48	0,72	0,99
	1986-1990	1,02	1,33	1,02	0,75	0,50	0,29	0,29	0,10	0,50	0,50	0,75	1,02
	1991-1996	3,25	3,54	3,25	2,97	2,70	2,43	2,43	2,17	2,70	2,70	2,97	3,25
CO2	< 1970	142	167	142	119	98	79	79	61	98	98	119	142
	1970-1980	119	138	118	98	81	64	66	51	81	82	99	118
	1981-1985	113	132	113	94	77	62	62	49	77	77	94	113
	1986-1990	103	121	103	86	71	57	57	44	71	71	86	103
	1991-1996	114	134	114	95	79	63	63	49	79	79	96	114
Partikler	< 1970	0,16	0,21	0,16	0,11	0,07	0,03	0,03	0,01	0,07	0,07	0,11	0,16
	1970-1980	0,16	0,21	0,16	0,11	0,07	0,03	0,03	0,01	0,07	0,07	0,11	0,16
	1981-1985	0,16	0,21	0,16	0,11	0,07	0,03	0,03	0,01	0,07	0,07	0,11	0,16
	1986-1990	0,16	0,21	0,16	0,11	0,07	0,03	0,03	0,01	0,07	0,07	0,11	0,16
	1991-1996	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03

Tabel 4

		Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.
CO	< 1970	260,3	319,4	260,3	204,5	153,8	103,1	103,1	57,4	153,8	153,8	204,5	260,3
	1970-1980	260,3	319,4	260,3	204,5	153,8	103,1	103,1	57,4	153,8	153,8	204,5	260,3
	1981-1985	159,8	196,1	159,8	125,5	94,4	63,3	63,3	35,3	94,4	94,4	125,5	159,8
	1986-1990	178,5	219,0	178,4	140,1	105,4	70,6	70,7	39,4	105,4	105,4	140,2	178,6
	1991-1996	68,8	82,6	68,8	55,2	41,9	28,6	28,6	15,6	41,9	41,9	55,2	68,8
VOC	< 1970	30,4	39,6	30,4	22,3	15,6	9,0	9,0	3,8	15,6	15,6	22,3	30,4
	1970-1980	30,4	39,6	30,4	22,3	15,6	9,0	9,0	3,8	15,6	15,6	22,3	30,4
	1981-1985	28,4	36,9	28,4	20,7	14,6	8,4	8,4	3,6	14,6	14,6	20,7	28,4
	1986-1990	28,7	37,3	28,6	20,9	14,7	8,4	8,4	3,6	14,7	14,7	21,0	28,7
	1991-1996	6,4	8,3	6,4	4,9	3,7	2,6	2,6	1,9	3,7	3,7	4,9	6,4
NOx	< 1970	-0,77	-1,39	-0,77	-0,30	-0,08	0,14	0,14	0,12	15,62	15,62	-0,30	-0,77
	1970-1980	-0,77	-1,39	-0,77	-0,30	-0,08	0,14	0,14	0,12	15,62	15,62	-0,30	-0,77
	1981-1985	-0,76	-1,39	-0,76	-0,30	-0,08	0,14	0,14	0,12	14,55	14,55	-0,30	-0,76
	1986-1990	-0,53	-0,98	-0,54	-0,21	-0,05	0,11	0,11	0,09	14,70	14,69	-0,21	-0,53
	1991-1996	0,97	0,93	0,97	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00	3,75	3,75	1,00	0,97
CO2	< 1970	635	756	635	522	421	319	319	229	421	421	522	635
	1970-1980	635	756	635	522	421	319	319	229	421	421	522	635
	1981-1985	578	688	578	476	383	291	291	209	383	383	476	578
	1986-1990	463	550	463	381	307	234	233	168	307	307	381	463
	1991-1996	348	405	349	294	243	191	191	143	243	243	294	349
Partikler	< 1970	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
	1970-1980	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
	1981-1985	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
	1986-1990	0,05	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
	1991-1996	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02

Gennemsnitlige turlængder i COPERT koldstartberegningen

	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
< 1970	12,5	19,1	9,6	8,0	14,5	7,7	9,0	14,0	60,0	6,8	11,5	5,0
1970					30,0							
1971	26,1		12,0	16,5	9,4			39,3				
1972	36,5		1,0		4,3	7,0			11,3	12,6	22,0	3,7
1973	8,7	6,0	23,3		30,0		8,9	1,0	12,7	10,1		
1974	9,8			6,0	11,0	45,0	10,0		18,0	3,6	24,0	17,0
1975		2,0	6,3	1,0	6,8		15,0	40,6	17,2	10,4	8,2	15,4
1976	1,5	5,5	10,0	25,8	5,1	28,3		19,3	4,0	9,9	18,0	13,1
1977	6,2	2,8	11,9	9,7	5,0	7,8	4,0	6,6	10,6	8,4	10,3	12,8
1978	14,4	6,9	19,0	35,9	12,1	11,4	15,7	7,4	10,0	10,5	4,0	6,9
1979	10,0	10,0	13,8	10,9	8,9	6,0	13,5	7,9	9,4	21,8	11,0	16,1
1980	10,2	8,6	16,6	17,4	9,4	10,9	6,8	10,5	8,6	13,3	13,1	11,2
1981	16,1	7,4	6,8	8,4	22,2	10,1	5,0	22,0	8,6	11,1	41,3	32,1
1982	11,6	12,8	10,8	14,5	9,7	19,4	12,1	12,6	7,9	14,4	13,0	21,5
1983	12,5	15,0	12,8	15,4	11,0	15,2	10,1	15,7	11,4	10,9	9,6	16,6
1984	9,7	17,0	10,5	14,5	16,3	10,3	11,4	13,0	12,0	15,2	12,3	15,6
1985	9,1	13,5	13,8	10,6	11,0	13,7	15,9	14,0	14,4	14,9	13,3	12,0
1986	12,7	16,7	13,8	15,2	10,5	14,1	17,3	14,0	12,2	13,2	11,9	12,4
1987	12,1	13,3	11,2	13,4	12,5	13,5	15,2	18,3	14,7	13,3	14,9	11,8
1988	14,4	19,8	10,5	16,3	15,1	18,3	18,3	13,6	15,7	13,4	9,1	8,5
1989	17,4	14,8	11,5	13,7	12,5	17,9	20,2	15,6	13,1	7,3	18,9	16,7
1990	10,1	17,8	19,5	13,6	13,8	15,9	18,6	12,8	10,4	14,2	14,7	24,4
1991	14,8	13,0	18,0	13,3	9,8	27,4	20,4	13,9	20,2	14,5	13,6	11,0
1992	10,4	14,9	13,4	16,3	11,6	16,2	16,2	14,2	17,3	19,2	17,7	18,7
1993	11,4	16,9	11,8	12,5	20,3	14,8	28,8	16,2	11,7	13,3	12,5	11,7
1994	14,3	14,5	18,1	13,4	14,7	21,3	22,6	16,4	18,9	12,7	15,4	15,0
1995	11,6	18,5	12,8	15,2	14,7	16,4	16,9	12,2	17,2	12,6	16,0	12,5
1996		14,1	12,6	17,8	26,8	13,4	24,1	17,7	16,1	13,3	15,7	19,5

Antallet af ture brugt i COPERT og WB ved koldstartsberegningen

	Januar	Februar	Marts	April	Maj	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	December
< 1970	28	10	5	8	10	6	4	4	4	4	4	8
1970					1							
1971	14		1	8	7			3				
1972	6		2		3	2			6	5	2	3
1973	9	6	6		2	7	2		3	7		
1974	26			13	7	2	5		2	16	7	8
1975		2	12	2	9		4	12	5	10	10	9
1976	4	4	4	13	15	8		8	4	13	12	13
1977	10	16	15	12	8	9	10	13	14	5	8	10
1978	54	40	30	26	24	14	20	19	4	16	10	37
1979	46	31	32	60	31	33	15	22	21	12	25	17
1980	22	25	17	19	25	32	8	30	17	21	10	39
1981	30	42	12	38	18	29	18	20	30	20	10	9
1982	82	43	29	46	39	21	27	33	42	44	22	32
1983	74	60	77	56	41	50	37	73	66	44	37	67
1984	138	72	141	104	103	115	77	111	100	71	90	92
1985	168	106	138	207	83	94	115	77	105	116	98	159
1986	209	173	164	200	203	118	156	197	190	148	209	217
1987	176	117	87	123	125	127	91	107	123	104	99	92
1988	145	85	98	122	92	69	81	115	78	103	83	115
1989	61	73	83	81	94	65	53	105	80	86	105	71
1990	116	73	78	135	103	95	68	74	91	109	91	59
1991	105	107	79	113	81	62	62	108	83	66	87	125
1992	129	109	110	137	55	85	81	92	94	90	80	109
1993	161	105	97	143	90	127	84	126	126	147	98	135
1994	158	166	157	224	153	163	123	157	138	174	145	133
1995	242	210	189	212	226	130	90	164	148	196	169	177
1996		17	71	71	54	98	51	93	113	129	164	142

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Direktion og Sekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi
Afd. for Miljøkemi
Afd. for Systemanalyse

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejsøvej 25
Postboks 413
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Afd. for Sø- og Fjordøkologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Vandløbsøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 14

Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Tagensvej 135, 4
2200 København N
Tlf.: 35 82 14 15
Fax: 35 82 14 20

Afd. for Arktisk Miljø

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web. I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

1998

- Nr. 229: Ynglefugle i Vadehavet 1996. Af Rasmussen, L.M. & Thorup, O. 101 s., 90,00 kr.
- Nr. 230: On the Fetch Dependent Drag Coefficient over Coastal and Inland Seas. By Geernaert, G.L. & Smith, J.A. 20 pp., 35,00 DKK.
- Nr. 231: Mere brændstoeffektive køretøjer. CO₂-konsekvenser og samfundsøkonomi. Af Møller, F. & Winther, M. 74 s., 100,00 kr.
- Nr. 232: Fragmentering og korridorer i landskabet - en litteraturudredning. Af Hammershøj, M & Madsen, A.B. 110 s., 100,00 kr.
- Nr. 233: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 1997-1998. Af Noer, H., Madsen, J., Hartmann, J., Kanstrup, N. & Kjær, T. 61 s., 60,00 kr.
- Nr. 234: Background Concentrations for Use in the Operational Street Pollution Model (OSPM). By Jensen, S.S. 107 pp., 125 DKK.
- Nr. 235: Effekten på sangsvane ved etablering af en vindmøllepark ved Overgaard gods. Af Larsen, J.K. & Clausen, P. 25 s., 35,00 kr.
- Nr. 236: The Marine Environment in Southwest Greenland. Biological Resources, Ressource Use and Sensitivity to Oil Spill. By Mosbech, A., Boertmann, D., Nymand, J., Riget, F. & Acquarone, M. 202 pp., 250,00 DKK (out of print).
- Nr. 237: Råvildt og forstyrrelser. Af Olesen, C.R., Theil, P.K. & Coutant, A.E. 53 s., 60,00 kr.
- Nr. 238: Indikatorer for naturkvalitet i søer. Af Jensen, J.P. & Søndergaard, M. 39 s., 50,00 kr.
- Nr. 239: Aromater i spildevand. Præstationsprøvning. Af Nyeland, B.A. & Hansen, A.B. 64 s., 60,00 kr.
- Nr. 240: Beregning af rejsetider for rejser med bil og kollektiv trafik. ALTRANS. Af Thorlacius, P. 54 s., 74,00 kr.
- Nr. 241: Control of Pesticides 1997. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Køppen, B. & Petersen, K.K. 24 pp., 50,00 DKK.
- Nr. 242: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 1997/98 i Danmark. Af Clausager, I. 50 pp., 45,00 kr.
- Nr. 243: The State of the Environment in Denmark 1997. By Holten-Andersen, J., Christensen, N., Kristensen, L.W., Kristensen, P. & Emborg, L. (eds.). 288 pp., 190,00 DKK.
- Nr. 244: Miljøforholdene i Tange Sø og Gudenåen. Af Nielsen, K., Jensen, J.P. & Skriver, J. 63 s., 50,00 kr.
- Nr. 245: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Report 1997. By Kemp, K., Palmgren, F. & Mancher, O.H. 57 pp., 80,00 DDK.
- Nr. 246: A Review of Biological Resources in West Greenland Sensitive to Oil Spills During Winter. By Boertmann, D., Mosbech, A. & Johansen, P. 72 pp., 95,00 DKK.
- Nr. 247: The Ecology of Shallow Lakes - Trophic Interactions in the Pelagial. Doctor's dissertation (DSc). By Jeppesen, E. 358 pp., 200,00 DKK.
- Nr. 248: Lavvandede søers økologi - Biologiske samspil i de frie vandmasser. Doktordisputats. Af Jeppesen, E. 59 s., 100,00 kr.
- Nr. 249: Phthalater i miljøet. Opløselighed, sorption og transport. Af Thomsen, M. & Carlsen, L. 120 s., 45,00 kr.
- Nr. 250: Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg, III. Feltundersøgelser og litteraturudredning. Af Jeppesen, J.L., Madsen, A.B., Mathiasen, R. & Gaardmand, B. 69 s., 60,00 kr.
- Nr. 251: Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Jensen, J.P., Jeppesen, E., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L. & Sortkjær, L. 102 s., 125,00 kr.
- Nr. 252: Landovervågningsoplande. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Laubel, A.R., Paulsen, I., Jensen, P.G. & Rasmussen, P. 154 s., 150,00 kr.
- Nr. 253: Ferske vandområder - vandløb og kilder. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Windolf, J., Svendsen, L.M., Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Skriver, J. & Erfurt, J. 102 s., 150,00 kr.
- Nr. 254: Marine områder. Åbne farvande - status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Af Ærtebjerg, G. et al. 246 s., 250,00 kr.
- Nr. 256: Emissioner fra vejtrafikken i Danmark 1980-2010. Af Winther, M. & Ekman, B. 73 s., 75,00 kr.
- Nr. 257: Landbrugsscenarier - integreret miljøøkonomisk modelanvendelse. Af Andersen, J.M., Wier, M., Hasler, B. & Bruun, H.G. 93 s., 100,00 kr.
- Nr. 260: Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Af Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. 86 s., 150,00 kr.
- Nr. 262: Proceedings of the 16th Mustelid Colloquium, 9th - 12th October 1997, Århus, Denmark . Ed. by Madsen, A.B., Asferg, T., Elmeros, M. & Zaluski, K. 45 pp., 40,00 DKK.

Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

ISBN 87-7772-446-1
ISSN 0905-815X