

EMFO
EMISSIONSFORSKNINGSPROGRAMMET

SVARTEMIS

Implementering av ARTEMIS Road Model i Sverige

Slutrapport



Artemis 0.4d

Åke Sjödin, Martin Jerksjö, IVL
Charlotte Sandström, Lennart Erlandsson, Jacob Almén, AVL MTC
Eva Ericsson, Hanna Larsson, Lunds tekniska högskola
Ulf Hammarström, Mohammad-Reza Yahya, VTI
Håkan Johansson, Vägverket

B1831
Februari 2009



<p>Organisation</p> <p>IVL Svenska Miljöinstitutet AB</p>	<p>Rapportsammanfattning</p>
<p>Adress</p> <p>Box 5302 400 14 Göteborg</p>	<p>Projekttitel</p> <p>Implementering av EU-gemensam emissionsmodell för vägtrafik som underlag för svensk emissionsstatistik och uppföljning av luftkvalitetsdirektiv - EMFO dnr AL90 B 2004:01351</p> <p>Anslagsgivare för projektet</p> <p>Emissionsforskningsprogrammet (www.pff.nu) Stiftelsen IVL (www.ivl.se)</p>
<p>Telefonnr</p> <p>031-725 62 00</p>	
<p>Rapportförfattare</p> <p>Åke Sjödin, Martin Jerksjö, IVL Charlotte Sandström, Lennart Erlandsson, Jacob Almén, AVL MTC Eva Ericsson, Hanna Larsson, Lunds tekniska högskola Ulf Hammarström, Mohammad-Reza Yahya, VTI Håkan Johansson, Vägverket</p>	
<p>Rapporttitel och undertitel</p> <p>Implementering av ARTEMIS Road Model i Sverige. Slutrapport.</p>	
<p>Sammanfattning</p> <p>Föreliggande rapport utgör slutrapport för EMFO:s projekt "Implementering av EU-gemensam emissionsmodell för vägtrafik som underlag för svensk emissionsstatistik och uppföljning av luftkvalitetsdirektiv". Projektet har genomförts under perioden augusti 2004 - december 2008 i samarbete mellan IVL, AVL MTC, Lunds tekniska högskola, VTI samt Vägverket. Den nyligen utvecklade "state-of-the-art"-emissionsmodellen för vägtrafik inom EU, ARTEMIS Road Model, har implementerats i Sverige för såväl den internationella utsläppsrapporteringen som för uppföljning av nationella sektors- och miljömål. ARTEMIS-modellen har den stora fördelen att den kan användas från liten skala (väglänknivå) för att studera utsläpps- och luftförorenings effekter i samband med t. ex. vägprojektering och trafikplanering, upp till nationell/internationell skala. Implementeringen av ARTEMIS ger Sverige en bra grund att stå på inför framtiden vad gäller det fortsatta arbetet för att uppnå långtgående klimat- och andra miljömål, för vilka vägtransportsektorn spelar en betydande roll.</p>	
<p>Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren</p> <p>Emissionsmodell, emissionsstatistik, vägtrafik, ARTEMIS, EMV, SIMAIR, HBEFA, DACH-NL-S</p>	
<p>Bibliografiska uppgifter</p> <p>IVL Rapport B1831</p>	
<p>Rapporten beställs via</p> <p>Hemsida: www.ivl.se, e-post: publicationservice@ivl.se, fax 08-598 563 90, eller via IVL, Box 21060, 100 31 Stockholm</p>	

Förord

Föreliggande rapport utgör slutrapport för Emissionsforskningsprogrammets (EMFO:s) projekt "Implementering av EU-gemensam emissionsmodell för vägtrafik som underlag för svensk emissionsstatistik och uppföljning av luftkvalitetsdirektiv" (EMFO dnr AL90 B 2004:01351). Projektet har genomförts under perioden augusti 2004 - december 2008 i samarbete mellan IVL, AVL MTC, Institutionen för teknik och samhälle vid Lunds tekniska högskola, VTI samt Vägverket. Förutom EMFO har även Stiftelsen IVL bidragit till projektets finansiering.

Projektets primära syfte har varit att - i tid till den första rapporteringen under Kyoto-protokollet - i Sverige implementera den nya EU-gemensamma emissionsmodellen för vägtrafik *ARTEMIS Road Model* (hädanefter benämnd ARTEMIS-modellen), utvecklad inom EU-projektet ARTEMIS (*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*). Då Kyoto-rapporteringen omfattade utsläppen för samtliga år under perioden 1990-2004 med en mycket strikt deadline (15/1 2006), har omfattande resurser fått läggas ned på denna del av projektet. Uppgiften försvårades dessutom av att ARTEMIS-modellen inte var färdigutvecklad och i operationellt skick förrän sent i denna fas av projektet.

I och med Sveriges rapportering till EU och Kyotoprotokollet av utsläppen av växthusgaserna CO₂, CH₄ och N₂O i januari 2006, ersattes den sedan mitten av 1990-talet använda nationella emissionsmodellen för vägtrafik EMV med ARTEMIS-modellen för framtagning av den svenska officiella emissionsstatistiken och för Sveriges internationella utsläppsrapportering. Efter detta har genom föreliggande projekt och andra parallellt pågående projekt olika nationella emissionsdata ersatts av ARTEMIS-data för en rad olika syften och tillämpningar:

- Sveriges rapportering av utsläpp av luftföroreningar till EU:s Takt direktiv, det s k NEC-direktivet, samt till UNECE CLRTAP, FN:s konvention om gränsöverskridande luftföroreningar.
- Den nationella miljömålsuppföljningen och uppföljningen av sektorsspecifika utsläppsmål för vägtrafiken.
- Indata (emissionsfaktorer) till den nya nationella luftkvalitetsmodellen SIMAIR och till Vägverkets nya Effektkatalog (ersätter den tidigare EVA-modellen).

Ett viktigt resultat av projektet är därmed att när det gäller emissionsdata relaterade till vägtrafik föreligger idag konsistens såväl inom landet som mellan Sverige och en rad andra europeiska länder som bygger sina officiella emissionsdata för vägtrafiksektorn på ARTEMIS-modellen eller närbesläktade europeiska emissionsmodeller (Handbook of Emission Factors, COPERT). Genom projektet har Sverige också kunnat öka sin kontaktyta och sitt inflytande på den fortsatta utvecklingen av emissionsmodeller för vägtrafik i Europa.

Genomförandet av föreliggande projekt hade inte varit möjligt utan det mycket goda samarbetet mellan de fyra utförande parterna och den huvudsakliga avnämnaren av projektets resultat Vägverket. Ett stort tack riktas också till de finansierande parterna inom EMFO (Vägverket, Naturvårdsverket, Energimyndigheten och svensk fordonsindustri gemensamt genom Bil Sweden), och referensgruppen för projektet ("Expertreferensgruppen för vägtrafikens emissionsstatistik") som med stort intresse och engagemang följt och bidragit till arbetet under projektets löptid.

Sammanfattning

Vägtrafikemissionsmodellen ARTEMIS Road Model, utvecklad inom EU-projektet ARTEMIS (*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*), har implementerats i Sverige för att generera underlag till Sveriges internationella utsläppsrapportering (till FN:s klimatkonvention, EU:s taktidirektiv m. fl.) och till den nationella sektors- och miljömålsuppföljningen.

ARTEMIS-modellen representerar i mycket den senaste kunskapen - "state-of-the art" - inom fordonsemissionsområdet i Europa. Modellen är en så kallad trafiksituationsmodell, vilken tar hänsyn till inte bara fordonens hastighet utan också körmönstret, dvs kombinationen hastighet-acceleration, för ett stort antal fordonstyper. I takt med att avgaskraven skärps alltmer - vilket medför användning av alltmer avancerad avgasreningssystem - blir hänsynstagande till körmönster i beräkningar av fordons bränsleförbrukning och avgasutsläpp allt viktigare för att dessa ska bli korrekt beskrivna.

Via data hämtade från framförallt bilregistret, men även från andra nationella källor, har uppgifter om den svenska fordonsparken, dess sammansättning samt trafikarbete för historiska år från och med 1980 fram till idag (senaste inmatningsår 2008 vid tidpunkten för denna rapportens färdigställande), samt för prognosår fram till och med 2020, matats in i ARTEMIS-modellen. ARTEMIS beskriver sex huvudkategorier av fordon, vilka delas in i segment, motsvarande olika motorvolymklasser eller viktsklasser, samt subsegment, motsvarande olika emissionskravnivåer (Euro 1, 2, etc.).

Det svenska trafikarbetet har delats in i ARTEMIS trafiksituationer. 85 av de totalt 276 trafiksituationerna i ARTEMIS återfinns i Sverige. De tio vanligast förekommande trafiksituationerna i Sverige svarar tillsammans för 80% av det totala trafikarbetet. 94% av trafikarbetet sker under så kallade "free flow"-förhållanden, dvs fritt och ostört flöde, och endast 0.05% utgörs av kökörning, så kallad "stop & go". Resultaten visar också att 41% av det svenska trafikarbetet går i tätort och 59% på landsbygd.

Jämfört med den tidigare nationella emissionsmodellen EMV ger ARTEMIS mestadels något högre nationell bränsleförbrukning och högre utsläpp av CO₂, kväveoxider och kolväten för tidsperioden 1990-2004, som ingick i den första rapporteringen under Kyoto-protokollet. Jämfört med basåret 1990 har utsläppen från den svenska vägtrafiken fram till idag ökat med ca 7% för CO₂, medan de minskat med ca 60% för NO_x och med ca 80% för kolväten.

För att åtgärda en del av de brister som råder i den emissionsfaktordatabas som hör till ARTEMIS, har inom projektet utförts en rad chassidynamometerstudier, bland annat för att täcka in förhållanden som är av särskilt intresse för svenskt vidkommande. Bland dessa kan nämnas studier av effekter på emissioner vid låga temperaturer och av väglutning, bränsleförbrukning och avgasemissioner som funktion av fordonsvikt, partikelemissioner från bensinbilar, samt effekter på emissioner och bränsleförbrukning av luftkonditionering, låga hastigheter och etanolblandning.

Inom och i anslutning till projektet har ett omfattande arbete lagts ned på att verifiera ARTEMIS-modellen mot andra oberoende metoder för mätning av emissioner under så kallade "real-world"-förhållanden - tunneltäckningar, mätningar med fjärranalysteknik (FEAT) samt PEMS-mätningar. Generellt visar dessa studier att ARTEMIS-modellen beskriver utsläppen från den äldre delen av fordonsparken på ett tillfredsställande sätt (fram till och med Euro 3), medan ytterligare mät-, modellutvecklings- och forskningsarbete krävs för att säkerställa modellens tillförlitlighet med avseende på nya och kommande kravnivåer (Euro 4, 5 och 6), framför allt för tunga fordon.

Rapporten ger förslag till både fortsatt förvaltning av ARTEMIS-modellen och behov av och förslag till fortsatt forskning inom området.

Summary

The road traffic emission model, developed within the EU FP5 project ARTEMIS (*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*), has been implemented in order to support Sweden's international reporting obligations on greenhouse gas and air emissions, as well as the follow-up of national objectives for the road transport sector and for the environment.

The ARTEMIS Road Model represents the very latest knowledge - "state-of-the art" - in the field of road vehicle emission research in Europe. The model is known as a traffic situation model, which takes into account not only the vehicles' speed, but also the driving pattern, or the driving behaviour, i.e. the combination of speed and acceleration, for a wide range of vehicle types. As emission standards are getting tighter - which entails the use of more advanced emission control equipment - taking into consideration the driving behaviour in the calculations of fuel consumption and exhaust emissions, are becoming increasingly important for these to be accurate.

Via the Swedish national vehicle register, but also from other national data sources, data on the Swedish fleet, its composition and vehicle mileage travelled for the historical years of 1980 until today (the last statistical year is 2008 at the time of this report being prepared), and for projections up to 2020, were entered into the ARTEMIS model. ARTEMIS contains six main categories of vehicles, which are divided into segments corresponding to different engine displacement volumes and weight classes, and subsegments corresponding to different emission concepts (Euro 1, 2, etc.).

The Swedish traffic has been divided into ARTEMIS traffic situations. 85 of a total of 276 traffic situations in ARTEMIS occur in Sweden. The ten most common traffic situations in Sweden together account for 80% of the total traffic. 94% of the traffic occurs during "free flow" conditions, i.e. free and undisturbed flow, and only 0.05% is "stop & go" driving. The results also show that 41% of the Swedish traffic occur in urban areas and 59% in rural areas.

Compared with the previous national emission model ARTEMIS yields mostly slightly higher national fuel consumption and higher emissions of CO₂, NO_x and hydrocarbons for the time series 1990-2004, which was included in the first reporting under the Kyoto Protocol. Compared with 1990, emissions from Swedish road traffic until 2007 increased by approximately 7% for CO₂, while emissions decreased by about 60% for NO_x and about 80% for hydrocarbons.

To remedy some of the deficiencies in the emission factor database belonging to the ARTEMIS road model, a series of chassis dynamometer studies were conducted within the project, including conditions that are of particular interest for Sweden. These include studies of the effects on emissions at low temperatures and of road grade, fuel consumption and exhaust emissions as a function of vehicle weight, particulate emissions from petrol cars, and effects on emissions and fuel consumption of air conditioning, low speeds and ethanol admixtures.

Extensive work has been devoted to verify the ARTEMIS model against other independent methods for measuring emissions under the so-called "real-world" conditions - tunnel measurements, measurements with remote sensing techniques (FEAT) and PEMS measurements. Generally, these studies show that the ARTEMIS model describes the emissions from the medium age to old fraction (i.e. Euro 3 or older) of the Swedish vehicle fleet in a satisfactory manner, while additional measurements, model development and research is needed to ensure the model's accuracy with respect to new and future standards (Euro 4, 5 and 6), especially for heavy vehicles.

The report provides proposals for the continued up-date and administration of the ARTEMIS model, as well as research needs/suggestions for further research within this important field.

Innehållsförteckning

Förord

Sammanfattning

Summary

Innehållsförteckning

1	Bakgrund och syfte	2
2	Projektets omfattning	4
3	Resultat.....	6
3.1	Beskrivning av ARTEMIS Road Model.....	6
3.2	Beskrivning av den svenska fordonsparken i ARTEMIS.....	10
3.3	Indelning av det svenska trafikarbetet i ARTEMIS trafiksituationer	13
3.3.1	Principiellt tillvägagångssätt	13
3.3.2	Omvandling till trafikarbete.....	14
3.3.3	Uppdelning av trafikarbete på statliga vägar	14
3.3.4	Uppdelning av trafikarbete på kommunal/enskild väg.....	14
3.3.5	Tätortsklasser	14
3.3.6	Fördelning av trafikarbete på landsbygd och i tätort.....	15
3.3.7	Klassning av trafikförhållanden utifrån rangkurvor.....	15
3.3.8	Klassning av vägkategorier och fördelning av trafikarbetet över trafiksituationerna..	17
3.4	Kompletterande mätningar på svenska fordon.....	19
3.4.1	Fordonsprov lätta fordon (personbilar).....	19
3.4.2	Program för hållbarhetsprovning för tunga fordon - ombordmätningar med PEMS	22
3.5	Resultater nationell emissionsstatistik.....	24
3.6	Jämförelser med tidigare nationell modell - EMV	28
3.7	Verifiering av ARTEMIS-modellen mot data från emissionsmätningar i verklig trafik....	31
3.7.1	Tunnelmätningar inom ARTEMIS-projektet 2001	31
3.7.2	FEAT-mätningar 2001-2002	32
3.7.3	FEAT-mätningar 2007	33
3.8	Implementering i SIMAIR.....	37
3.9	Deltagande i europeiskt samarbete.....	38
3.9.1	DACH-NL-S.....	38
3.9.1	EU:s PEMS Pilot Program	39
3.10	Övriga resultat	40
3.10.1	Vägverkets Effektkatalog.....	40
3.10.2	Vägverkets och Naturvårdsverkets "Metodhandbok".....	40
3.10.3	Uppdatering av NTM:s metoder.....	40
3.10.4	Beräkningar för trängselavgiftsförsöket i Stockholm	41
3.10.5	"HEAVY ROUTE"	41
3.10.6	Långa fordon.....	41
4	Framtida förvaltning	42
5	FoU-behov - förslag till fortsatt forskning.....	45
5.1	Emissionsfaktorer, emissions samband.....	45
5.2	Körmönsterbeskrivningar.....	46
5.3	Fordonsbeskrivningar, övriga aktivitetsdata	46
5.4	Verifiering/validering.....	47
6	Spridning och publicering av resultat internationellt.....	48
7	Referenser.....	49

1 Bakgrund och syfte

För såväl den internationella utsläppsrapporteringen (till FN:s Klimatkonvention/Kyoto-avtalet, EU:s Takdirektiv samt konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar - CLRTAP) som för uppföljning av direktiv och miljö kvalitetsnormer avseende halter av hälsopåverkande luftföroreningar i omgivningsluft, föreligger stora behov av tillförlitliga och helst också internationellt harmoniserade emissionsmodeller för vägtrafik. Detta eftersom vägtrafiksektorn för många utsläppsämnen utgör den enskilt största källan. Den emissionsmodell för vägtrafik som under perioden 2000-2005 utvecklats inom EU-projektet ARTEMIS - *ARTEMIS Road Model* - har från början designats för att kunna användas för bägge dessa syften. Sverige har en historia av att ha använt egenutvecklade emissionsmodeller för vägtrafik för såväl sin utsläppsstatistik som för indata till olika spridnings- och beräkningsmodeller. Exempel på sådana modeller utgör EMV och VETO (ref). Tidigare har funnits reella motiv till att använda nationellt utvecklade modeller, baserade på nationella emissionsmätprogram, eftersom Sverige innan inträdet i EU hade en egen avgaslagstiftning, skild från EU:s. I och med EU-inträdet började dock denna situation att ändras. I längden är dessutom förvaltning av nationella emissionsmodeller en kostsam process för ett enskilt land, särskilt ett litet land som Sverige. Under senare tid har samtidigt de emissionsmodeller som utvecklats för användning inom EU förbättrats väsentligt: COPERT, Handbook of Emission Factors, HBEFA (HBEFA 2009), och den senast tillkomna ARTEMIS Road Model, utvecklad inom EU FP5-projektet ARTEMIS - *Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems* (TRL 2009).

Ovanstående utgör de huvudsakliga motiven till att Vägverket i sin roll som sektorsansvarig för vägtrafiken strax efter millennieskiftet fattade beslut om en ändrad modellstrategi, i vilken en övergång från en nationella emissionsmodell till en EU-gemensam modell för den officiella statistiken utgjorde en hörnsten. Valet föll på ARTEMIS-modellen. Ett viktig skäl till just detta val var att ARTEMIS bygger på ett delvis nytt koncept, vilket gör att modellen kan användas för beräkning av emissioner på lokal skala (ned till länknivå, t ex för indata till lokala spridningsmodeller) ända upp till nationell nivå. Ett annat viktigt skäl bottnar i den mycket omfattande och komplicerade process som ett byte av officiell emissionsmodell idag innebär, dels på grund av komplexiteten hos dagens modeller, dels på grund av att riktlinjerna inom den internationella rapporteringen kräver att långa tidsserier räknas om bakåt i tiden (minst från 1990). Eftersom flera svenska forskargrupper varit involverade i utvecklingen av ARTEMIS-modellen underlättades implementeringen, vilken samtidigt blev en naturlig fortsättning på de svenska forskningsinsatserna inom ARTEMIS. Dessa utgjordes i huvudsak av:

- Framtagning och beskrivning av körmonster som grund för utformning av ARTEMIS körcykler och trafiksituationer ("traffic situations") - Lunds tekniska högskola.
- Emissionsmätningar på tunga fordonsmotorer i motorbänk och på tunga och lätta fordon i chassidynamometer enligt ARTEMIS körcykler - AVL MTC.
- Framtagning av motormappar och emissions samband som underlag för den inom ARTEMIS särskilt utvecklade modellen (PHEM) för generering av emissionsfaktorer för ARTEMIS trafiksituationer för tunga fordon - VTI.
- Validering/verifiering av ARTEMIS Road Model mot tunnelmätningar - IVL.

Sverige var genom Vägverket även representerade i ETERG - European Transport Emission Research Group - en styr- eller referensgrupp för ARTEMIS, samt det till ARTEMIS koordinerade parallella EU FP5-projektet PARTICULATES (LAT, 2009), sammansatt av forskare och användare/finansiärer till projektet. Parallellt med ARTEMIS-projektet pågick också ett Cost-

samarbete, Cost 346, kring emissionsmätningar och insamling av emissionsdata för tunga fordon, vilket till stora delar bidragit till den del av ARTEMIS-modellen som rör tunga fordon (Sturm *et al.*, 2005).

För att övergången till en ny emissionsmodell inte skulle innebära att kvaliteten i svenska officiella emissionsdata för vägtrafiksektorn äventyrades, tecknades i projektansökan till EMFO en arbetskrävande nationell process i flera steg:

- Viktiga aktörer för implementeringen av modellen behöver skaffa sig en djup insikt i och kritiskt granska den nya modellens struktur, funktion och eventuella brister.
- Befintliga svenska aktivitetsdata måste anpassas till gällande format i den nya modellen.
- Processen för att samla in nya aktivitetsdata kan behöva modifieras för modellen ska kunna utnyttjas optimalt.
- Tillägg till och justeringar av modellen i form av emissionsfaktorer och emissions samband kan behövas för att den ska täcka även unikt svenska förhållanden.
- Den anpassade svenska versionen av modellen bör kvalitetssäkras och verifieras mot oberoende metoder.
- En fortsatt svensk medverkan i en EU-gemensam à-jourhållning och eventuell vidareutveckling av ARTEMIS-modellen bör säkerställas.

Ytterligare utmaningar för projektet har varit den strikta tidtabell som gällt för implementeringen av modellen för den svenska klimatgasrapporteringen till följd av Kyoto-avtalet. Enligt detta skulle Sverige senast den 15/1 2006 till EU-kommissionen rapportera nationella utsläpp av de direkta växthusgaserna CO₂, CH₄, N₂O och F-gaser för tidsperioden 1990-2004, vilka skall ligga till grund för uppföljningen av Sveriges och EU:s åtaganden under Kyoto-avtalet. Detta innebär att historiska data avseende utsläppen och de metoder som används för att beräkna dem läses under Kyoto-avtalets första åtagandeperiod 2008-2012. Bytet från en nationell modell för officiella beräkningar av vägtrafikens utsläpp till ARTEMIS-modellen måste därför ske innan Kyoto-rapporteringen, och under sådana former att denna rapportering inte äventyras. Tiden från projektstart till fullt genomförd implementering avseende kvalitetssäkrade beräkningar av den svenska vägtrafikens utsläpp av direkta växthusgaser för åren 1990 till 2004 var alltså bara 1½ år. Arbetet komplicerades ytterligare av att en fullt fungerande första version av ARTEMIS-modellen inte fanns tillgänglig förrän omkring ett år efter projektstart.

Efter att den första fasen av implementeringen gått i mål i och med rapporteringen till Kyoto, var kvarstående utmaningar för projektet att säkerställa kvaliteten i emissionsdata för Sveriges rapportering till EU:s Takdirektiv (NEC - National Emissions Ceilings Directive) samt till FN:s konvention om gränsöverskridande luftföroreningar - UNECE CLRTAP, samt att generera ARTEMIS emissionsfaktorer till den nya nationella luftkvalitetsmodellen SIMAIR. Genom tillkommande projekt under projektets löptid har dessutom ARTEMIS-data implementerats i en rad andra sammanhang, t ex Vägverkets nya effektkatalog och NTM:s metoddokument för vägtransporter inom arbetsgruppen för Gods & Logistik. Dessutom har en betydande del av arbetet under projektets sista år varit inriktat mot ett aktivt svenskt deltagande i den EU-gemensamma à-jourhållningen, valideringen och vidareutvecklingen av ARTEMIS-modellen.

2 Projektets omfattning

Projektet indelades i tre olika faser, i sin tur indelade i olika delmoment.

Fas 1

Det primära målet för fas 1 var att implementera ARTEMIS-modellen för beräkningar av de nationella utsläppen från vägtrafik för perioden 1990-2004 som underlag för Sveriges rapportering till Kyoto-protokollet och för övrig internationell rapportering (EU NEC och CLRTAP), samt att implementera ARTEMIS-data i luftkvalitetsmodellen SIMAIR. Arbetet omfattade också att kritiskt granska, kvalitetssäkra och verifiera den implementerade modellens resultat utifrån redan befintliga data, samt att prioritera och planera vidare insatser inom projektets fas 2. En detaljerad redogörelse av arbetet och erhållna resultat inom Fas 1 finns redovisade i en separat rapport (Sjödin *et al.*, 2009).

Delmoment 1.1

Detta delmoment omfattade allt grundarbete med framtagning och anpassning av svenska aktivitetsdata till modellen för att kunna genomföra beräkningar av den svenska vägtrafikens utsläpp från primärt 1990 och framåt för Sveriges internationella rapportering. Tidsserien för Sverige har dock kommit att omfatta alla år från 1980 och framåt, och med prognoser fram till 2020 för vissa ämnen. Inom detta delmoment togs också fram ARTEMIS-data som indata till SIMAIR.

Delmomentet utgjorde den utan jämförelse enskilt största arbetsinsatsen inom projektet, motsvarande mer än en tredjedel av dess totala budget, varav de mest arbetskrävande delarna var:

- Beskrivning av den svenska fordonsparkens och trafikarbetets fördelning på fordonstyper, drivsystem, kravnivåer och årsmodeller, enligt den indelning som tillämpas i ARTEMIS-modellen. För att erhålla en komplett och så exakt beskrivning som möjligt krävdes här ett relativt omfattande metodutvecklingsarbete.
- Beskrivning av fordonsanvändning, dvs. årlig körsträcka, som funktion av fordonsålder för ett stort antal typer av fordon. Denna utgick från de avläsningar av mätarställningar som görs i samband med den periodiska kontrollbesiktningen.
- Beskrivning av olika fordonskategoriers trafikarbete och lastfaktorer fördelat på olika trafikmiljöer. För detta krävdes metodutveckling, dels för korrektion mellan det totala trafikarbete som kan härledas via avläsningar av fordonens faktiska årliga körsträcka och det som kan härledas via trafikräkningar i det svenska vägnätet, dels för hantering av hur hänsyn ska tas till utländska fordon som trafikerar svenska vägar.
- Beskrivning av olika fordonskategoriers körmönster/körsätt i olika trafikmiljöer – översättning av ARTEMIS "traffic situations" till svenska förhållanden utifrån bland annat NVDB (nationella vägdatabanken) och resultat från tidigare svenska undersökningar rörande körmönster kopplade till olika väg- och trafikflödesklasser för tätort/landsbygd. För att klara denna uppgift krävdes ett mycket omfattande metodutvecklingsarbete.
- Framtagning av indata och anpassningar för beräkningar av kallstarts- och avdunstningsutsläpp i ARTEMIS-modellen.
- Drivmedelsbeskrivning (sammansättning och egenskaper) av olika drivmedelsklasser/typer för olika år samt beskrivning av drivmedelsanvändning (uppdelat på fordonsklasser).

Delmoment 1.2

Detta delmoment omfattade kvalitetssäkring och verifiering (utifrån befintliga verifieringsdata) av den i delmoment 1.1 implementerade ARTEMIS-modellen. De viktigaste aktiviteterna var här:

- Jämförelser med nationella beräkningar av utsläpp samt drivmedelsförbrukning med EMV-modellen för hela tidsserien 1990 - 2004.
- Jämförelser med genomsnittliga emissionsfaktorer erhållna i tunnelmätningar.
- Jämförelser med resultat från FEAT-mätningar för att verifiera emissionsfaktorer enligt ARTEMIS-modellen med upplösning på fordonsegment, kravnivå, drivmedel etc.
- Kompletterande utsläppsmätningar i chassidynamometer på svenska fordon enligt ARTEMIS-körcykeln.

Delmoment 1.3

Detta delmoment bestod i att - utifrån arbetet inom delmoment 1.1 och 1.2 - genomföra en kritisk granskning av ARTEMIS-modellen för att identifiera brister i modellen, speciellt avseende dess tillämpbarhet för svenska förhållanden, och åtgärdsbehov på nationell eller internationell nivå för att eliminera eventuella kritiska brister.

Delmoment 1.4

Inom detta delmoment prioriterades och detaljplanerades - utgående från resultat och erfarenheter vunna inom delmomenten 1.1-1.3 - FoU-insatser rörande aktivitetsdata, kompletterande emissions samband samt modellverifiering inom Fas 2. Syftet med detta delmoment var att optimera de svenska FoU-insatserna avseende Sveriges bidrag till den gemensamma à-jour-hållningen och vidareutvecklingen av ARTEMIS-modellen inom ramen för EMFO-programmet.

Fas 2

Det övergripande målet för fas 2 var att höja kvaliteten i svenska emissionsdata framtagna med ARTEMIS-modellen och samtidigt bidra till den EU-gemensamma à-jour-hållningen och vidareutvecklingen av modellen. Arbetet inom fas 2 hade ursprungligen fyra fokusområden:

1. Förbättrad kvalitet i svenska aktivitetsdata (körmonsterbeskrivningar samt övriga aktivitetsdata) anpassade till ARTEMIS-modellen.
2. Kompletteringar av emissionsfaktorer och emissions samband som inte täcks eller är bristfälligt behandlade i ARTEMIS-modellen, med särskild fokusering på faktorer som är av betydelse för svenska förhållanden.
3. Genomförande av ett skraddarsytt verifieringsprogram för ARTEMIS-modellen.
4. Deltagande i europeiskt samarbete för att sprida resultat och bidra till en gemensam à-jour-hållning och vidareutveckling av ARTEMIS-modellen.

Då arbetet inom fas 1, och särskilt delmoment 1.1, blev mer arbetskrävande än vad som kunde förutses då ansökan skrevs, blev dock utrymmet för arbete rörande framför allt fokusområde 2 (förbättrade körmonsterbeskrivningar) inom fas 2 kraftigt begränsat.

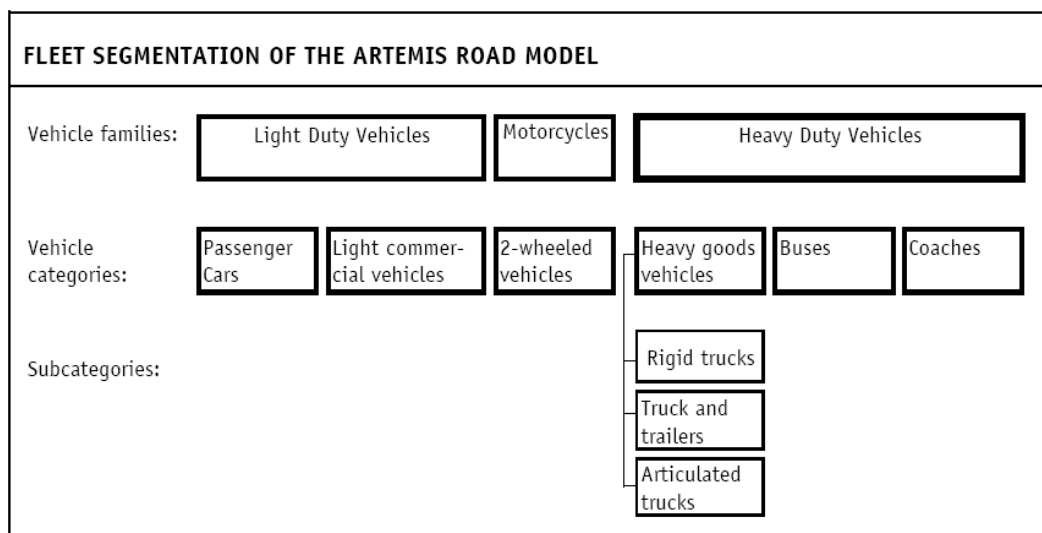
Fas 3

Projektets sista fas omfattade slutrapportering och publicering, inklusive formulering av en plan för den långsiktiga à-jour-hållningen av ARTEMIS-modellen efter projektets slut (2009 och framåt).

3 Resultat

3.1 Beskrivning av ARTEMIS Road Model

ARTEMIS Road Model (Keller et al., 2007ab) är ett Windows-baserat program konstruerat i MS Access som genererar emissionsfaktorer (g/fkm) och emissioner (t ex ton per år) för olika segment och subsegment av tre fordonsfamiljer, uppdelade på sex huvudkategorier av fordon: 1) lätta fordon, bestående av *i*) personbilar respektive *ii*) lätta lastbilar och bussar, 2) tunga fordon, bestående av *iii*) tunga lastbilar, *iv*) stadsbussar respektive *v*) landsvägsbussar, samt 3/*vi*) motorcyklar inklusive mopeder, se Figur 3.1. Segment definieras som grupper av fordon av liknande storlek, t ex personbilar indelade i cylindervolymsklasser (<1.4 liter, 1.4-2 liter, >2 liter) eller lastbilar indelade i viktsklasser, t ex 14-20 ton, och tillhörande samma motorteknologi/drivmedelstyp, t ex bensin, diesel, CNG. Subsegment är en finare indelning av segmenten i emissionskravnivåer: Euro 1, 2, etc.

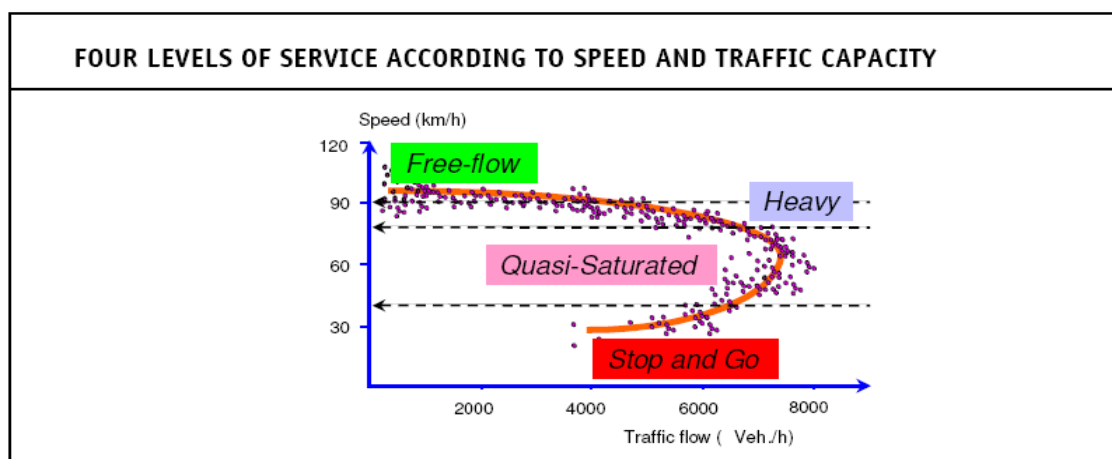


Figur 3.1 Uppdelning av fordonskategorier i ARTEMIS-modellen.

Emissionsfaktorer och emissioner beräknas i ARTEMIS för olika trafiksituationer, motsvarande olika körmoden relaterade till vägtyp, skyltad hastighet och trafikförhållanden, motsvarande det aktuella trafikflödet i relation till vägens kapacitetstak ("level of service"), se Figur 3.2 och Figur 3.3. Trafikförhållandena definieras i fyra klasser: 1) fritt flöde ("free flow"), motsvarande lågt och jämnt trafikflöde, konstant hastighet, helt ostörd trafik, 2) tungt trafikerad ("heavy"), motsvarande fritt men högt trafikflöde med vissa störningar och stundtals avvikelse från konstant hastighet, 3) uppnått kapacitetstak ("saturated") med ojämnt flöde och stora variationer i hastighet, samt 4) trafikstockning ("stop and go") med varierande låga hastigheter (krypkörning) och stundtals stopp. Det totala antalet trafiksituationer som modellen hanterar är 276. Modellen kan också generera emissionsfaktorer och emissioner som funktion av medelhastighet ("average speed").

Area	Road type	Levels of Service	Speed Limit												
			30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130	
Rural	1 Motorway-National	4 levels						x	x	x	x	x	x	x	
	2 TrunkRoad/Primary-National	4 levels				x	x	x	x	x	x				
	3 Distributor/Secondary	4 levels			x	x	x	x	x						
	4 Local/Collector	4 levels			x	x	x								
	5 Access-residential	4 levels	x	x	x										
Urban	1a Motorway-National	4 levels						x	x	x	x	x	x		
	1b Motorway-City	4 levels				x	x	x	x	x					
	2a TrunkRoad/Primary-National	4 levels					x	x	x	x					
	2b TrunkRoad/Primary-City	4 levels			x	x	x	x							
	3 Distributor/Secondary	4 levels			x	x	x								
	4 Local/Collector	4 levels			x	x									
5 Access-residential	4 levels	x	x	x											

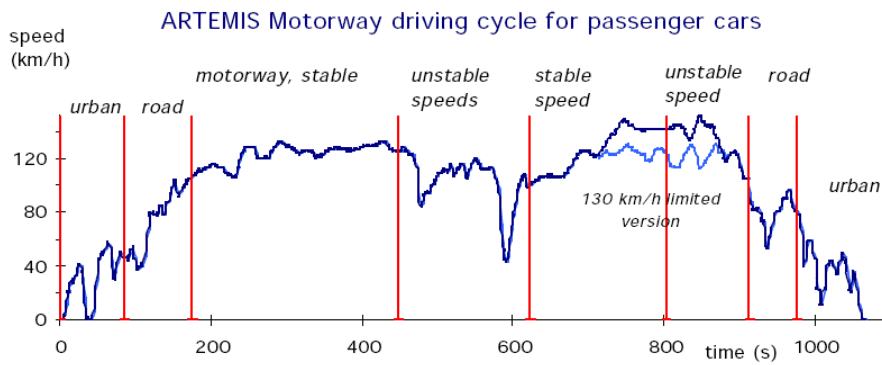
Figur 3.2 Trafiksituationer i ARTEMIS-modellen.



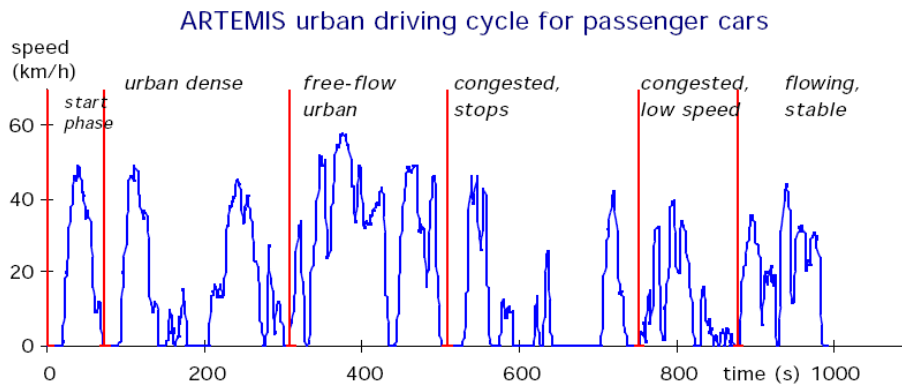
Figur 3.3 Principiell definition av de fyra olika "level of service" i ARTEMIS-modellen.

Emissionsfaktorerna i ARTEMIS-modellen baseras på emissionsmätningar i körcykler, framtagna särskilt inom ARTEMIS-projektet för att vara representativa för typiska körförhållanden i Europa (Figur 3.4 – Figur 3.6). Modellen beräknar separat varm-, kallstarts- respektive avdunstnings-emissioner. Strukturellt består modellen av fyra olika delar (se Figur 3.7):

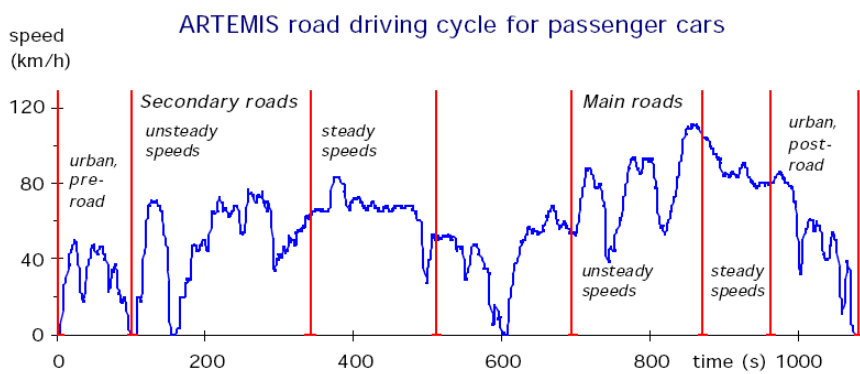
1. *Emissionsfaktordatabas*. Emissionsfaktorerna härrör från emissionsmätningar utförda inom ARTEMIS-projektet, men också från andra, i huvudsak nationella mätprogram.
2. *Fordonsparksmodell*. Denna tillåter användaren att mata in aktuella fordonsbeståndsdata, från en enskild väglänk upp till nationell nivå, för ett eller flera år.
3. *Emissionsfaktormodul*. Via denna får användaren access till emissionsfaktordatabasen. Den kan t ex användas för att generera viktade emissionsfaktorer för olika trafiksituationer utifrån den sammansättning på fordonsparken som specificerats i fordonsparksmodellen.
4. *Emissionsmodell*: Denna modell beräknar aggregerade emissioner i t ex ton per år för ett givet land, region, stad eller en eller flera länkar för hela eller del av den fordonspark som specificerats i fordonsparksmodellen.



Figur 3.4 ARTEMIS körcykel för motorväg.

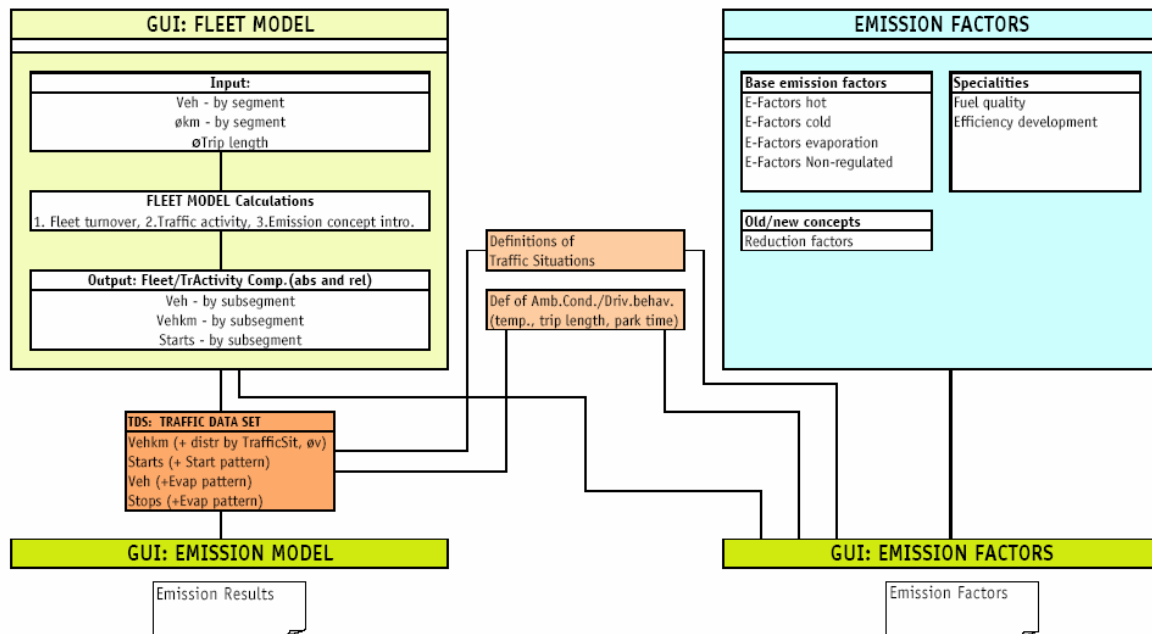


Figur 3.5 ARTEMIS körcykel för stadskörning.



Figur 3.6 ARTEMIS körcykel för landsvägskörning.

Modellen inklusive mjukvaran har utvecklats av INFRAS i Schweiz (Keller *et al.* 2007ab), baserat på resultaten från ett stort antal av de ingående workpackages i ARTEMIS-projektet. INFRAS har också utvecklat emissionsfaktormodellen Handbook of Emission Factors (HBEFA, 2009).



Figur 3.7 Principiell uppbyggnad av ARTEMIS-modellen (Keller *et al.*, 2007ab).

Vilka utläppsämnen som ARTEMIS-modellen hanterar framgår av Tabell 3.1. För vissa ämnen kan modellen inte generera emissioner för hela fordonsflottor, utan enbart som emissionsfaktorer. Förutom utsläppen av dessa ämnen beräknar modellen också bränsleförbrukning.

Tabell 3.1 Utsläppsämnen i ARTEMIS-modellen.

Ämnen som emissioner för hela fordonsflottor kan beräknas för	Ämnen som emissioner för hela fordonsflottor ej kan beräknas för (ges enbart i form av emissionsfaktorer)
HC (totalolväte)	Bensen
CO	Toluen
NO _x	Xylen
CO ₂	PM - total "surface area" ¹
PM (total massa avgaspartiklar)	PM - totalt antal partiklar ¹
Metan	PM - antal <50 nm, 50-100 nm resp. 100-1000 nm ¹
NMHC (totalolväte exklusive metan)	1,3-butadien
Pb	Acetaldehyd
SO ₂	Acrolein
N ₂ O	Benz(a)pyren
NH ₃	Etylbensen
	Formaldehyd
	Hexan
	PAH 6
	PAH - summa

¹ Endast tillgängligt för personbilar.

3.2 Beskrivning av den svenska fordonsparken i ARTEMIS

Beräkningar av utsläpp i ARTEMIS-modellen görs genom att aktivitetsdata multipliceras med specifika utsläpp per aktivitet. Slutligen summeras utsläppen för aktiviteter per önskad nivå, exempelvis nationellt för hela fordonsparken.

Som indata till ARTEMIS-modellen ges per fordonskategori totalt trafikarbete per år (antal fordon och körsträcka).

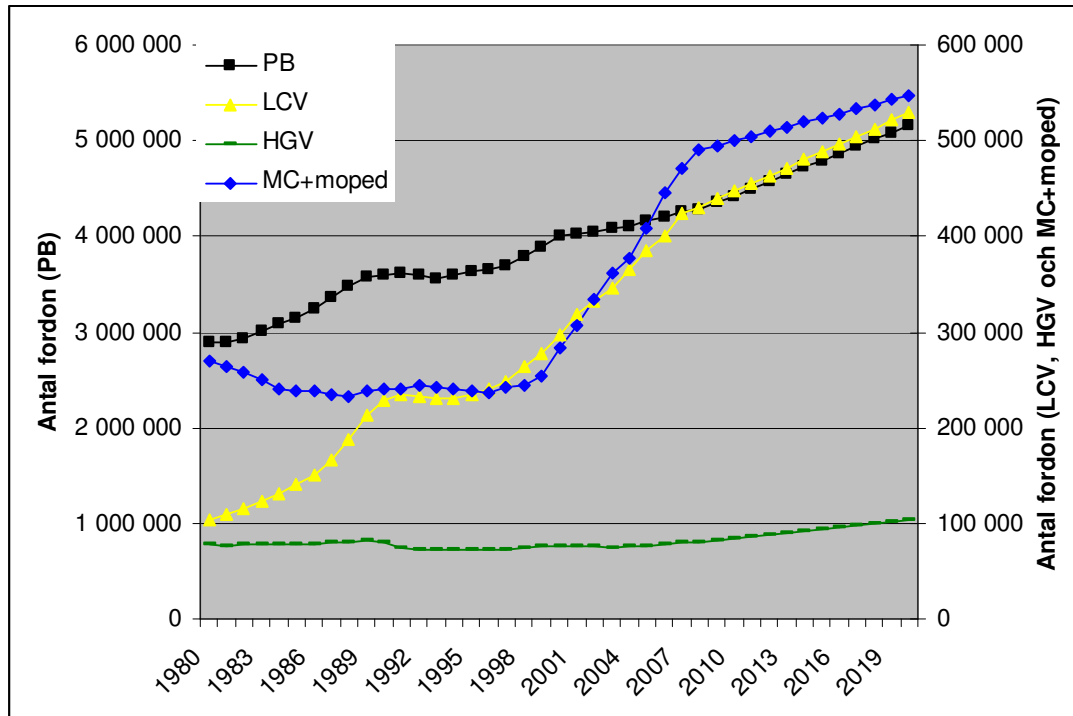
Nedbrytningen av trafikarbetet inom fordonsparken baseras på fördelningar bildade av antals- och aktivitetsdata.

De olika nivåerna på indata till ARTEMIS-modellen är följande:

- Fordonskategori (sex stycken, se avsnitt 3.1, Figur 3.1)
- Segment per kategori
- Kravnivå per segment
- Fordonsålder per segment.

En ytterligare uppdelning av indata utgörs av historiska data och sådana som används för att beskriva framtid.

I ARTEMIS-modellen ges antalsdata på fordonskategorinivå, se Figur 3.8. För alla nivåer därunder används relativa fördelningar.



Figur 3.8 Antal personbilar, lätta lastbilar, tunga lastbilar och tvåhjulningar (MC + moped) åren 1980 till 2020.

För segmentsindelningen gäller för respektive fordonskategori:

- PC: indelning efter drivmedel och cylindervolym
- LCV: indelning efter drivmedelstyp och fordonsvikt
- HGV: indelning i dragbil och lastbil samt efter totalvikt
- Landsvägsbuss ("Coach"): indelning efter drivmedelstyp och totalvikt
- Stadsbuss ("Urban Bus"): indelning efter drivmedelstyp och totalvikt
- MC: indelning i motorcykel och moped samt efter cylindervolym m.m.

Segmentindelningen av personbilar baseras bl.a. på cylindervolym. Denna uppgift har successivt tillkommit i bilregistret. För att tilldela fordon cylindervolym, då denna uppgift saknas, har funktioner utvecklats för bensen- och dieselfordon genom att analysera data ur bilregistret samt data från Konsumentverket, som för statistik på olika bilars bränsleförbrukning. Cylindervolymen uppskattas i dessa funktioner utifrån maxeffekt, fordonsvikt och årsmodell.

Någon direkt information för indelning av bussar i landsvägsbuss och stadsbuss enligt ARTEMIS definitioner finns inte i bilregistret. För att kunna göra denna indelning har i stället ett indirekt mått - kvoten mellan antal passagerare och totalvikt - utnyttjats. Uppgifter för att bilda denna kvot har hämtats ur bilregistret. Stadsbussar har högre sådan kvot än landsvägsbussar.

Begreppet fordonsålder är mindre entydigt än övriga eftersom olika åldersmått används i bilregistret: årsmodell, tillverkningsår eller datum för första registrering. Begreppet årsmodell har successivt fasats ut för personbilar. Det mått som har valts på fordonsålder för inmatning i ARTEMIS baseras på datum för första registrering antingen i Sverige eller utomlands. En betydande del av de årliga svenska nyregistreringarna är direktimport för vilka inte första registrering i Sverige är ett lämpligt mått. För fordon som inte är direktimporterade räknas ålder från datum för första registrering medan för direktimporterade fordon väljs tillverkningsår. Antalet åldersklasser i ARTEMIS är stort - 60 stycken.

Kravnivåer, avgasbestämmelser, introduceras ofta successivt i fordonsparken. Uppgifter om detta har hämtats ur bilregistret.

För beskrivning av framtid ges följande indata:

- "Survival probabilities"
- Segmentfördelning för nya fordon
- Åldersfördelning för nya fordon
- Kravnivåfördelning för nya fordon

Survival probability uttrycker förändringen av antal fordon i trafik i åldersklass k år n till åldersklass $k+1$ år $n+1$. Därmed är denna sannolikhet inte enbart ett uttryck för utskrotning, utan också för växling mellan i trafik och övriga tillstånd enligt bilregistret.

Åldersfördelning för "nya" fordon, att alla nya fordon inte har ålder 0 år, är ett uttryck både för direktimport och att fordon återgått till att vara i trafik.

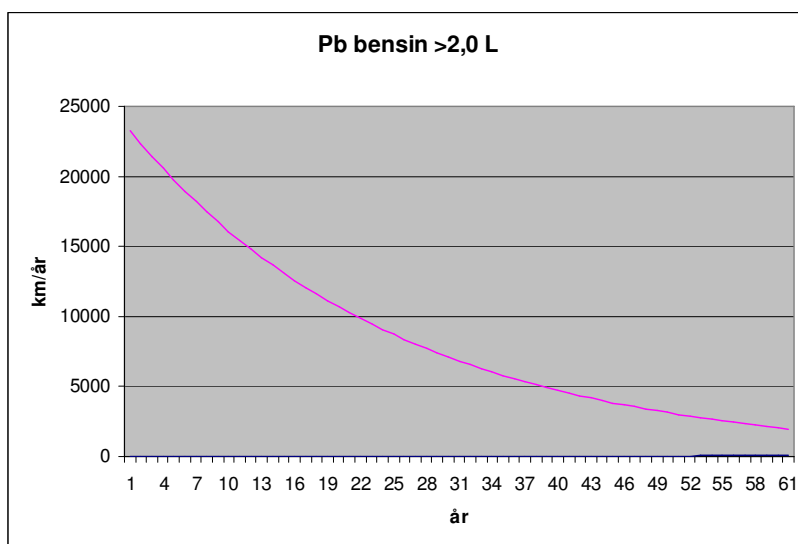
Beskrivning av den svenska fordonsparken avser både antalsmässiga fördelningar och användningen inom varje sådan delmängd.

Körsträckedata, årlig körsträcka per fordon och år, ges enligt följande:

- På segmentnivå
- På åldersnivå inom varje segment, se Figur 3.9

Övriga aktivitetsdata, exklusive indelning i trafiksituationer, är följande:

- Reslängd för personbilar
- Parkeringstid för personbilar
- "Transformation pattern" för tunga lastbilar
- Lastfaktorer för tunga lastbilar



Figur 3.9 Årlig körsträcka som funktion av fordonsålder för bensindrivna personbilar med cylindervolym >2 l.

För beräkning av kallstartseffekter och avdunstning används uppgifter om fördelning av reslängd och parkeringstid. Båda dessa typer av indata har baserats på underlag framtagna inom en studie med fem instrumenterade bilar (Vägverket, 1999).

Alla bilar kan på väg förekomma med eller utan släp. I ARTEMIS är möjligheten att beskriva förekomst av släp avgränsad till tunga lastbilar. Förekomst av släp för HGV beskrivs med s k "transformation patterns". Detta innebär att för varje viktklass av tung lastbil ges en fördelning som beskriver andel körning med respektive utan släp. Körning med släp är dessutom uppdelad på olika totalviktsklasser för ekipaget.

Emissionsfaktorer är generellt beroende av lastfaktor. I ARTEMIS har beskrivning av emissionernas lastberoende avgränsats till tunga lastbilar.

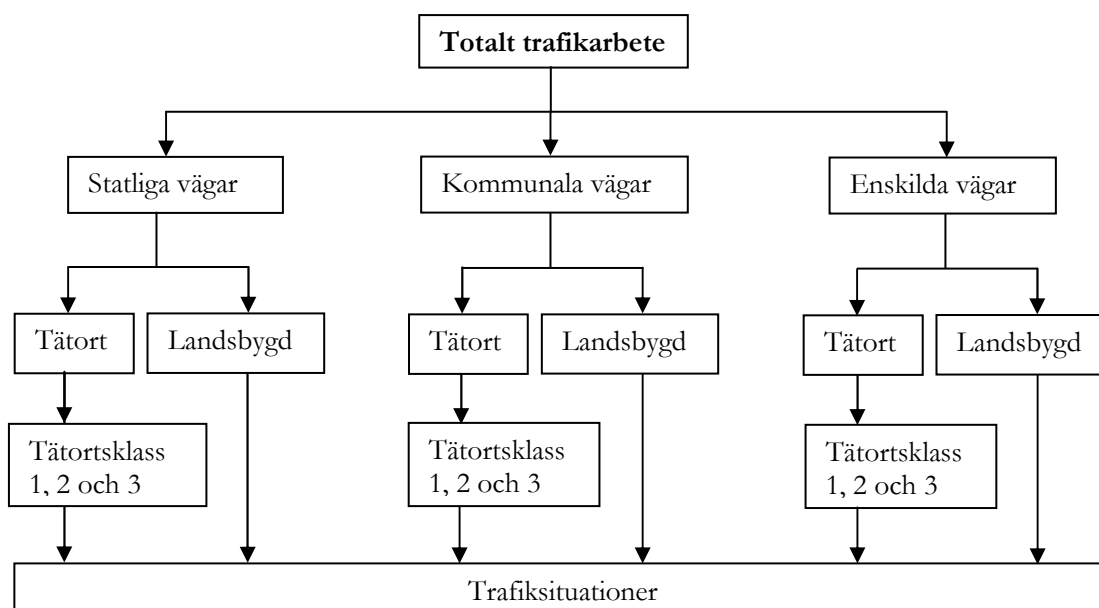
Uppgifter om lastfaktorer ges för lastbilar utan respektive lastbilar med släp. Lastfaktorerna ges som funktion av fordonsålder och med möjlighet till separata beskrivningar för körning i tätortstrafik (Urban), landsväg (Rural) och motorväg (Motorway). Det utnyttjade dataunderlaget utgörs av en sedan länge pågående enkät, UVAV (SIKA, 2009).

3.3 Indelning av det svenska trafikarbetet i ARTEMIS trafiksituationer

ARTEMIS-modellen kräver indata i form av det totala trafikarbetet och dess fördelning på olika trafiksituationer. Trafiksituationerna är primärt indelade efter vägar som går i tätort respektive på landsbygd. Vidare delas de in i vägkategorier och trafikförhållanden på respektive vägkategori.

3.3.1 Principiellt tillvägagångssätt

Tillvägagångssättet för att få fram fördelningen av det svenska trafikarbetet på ARTEMIS olika trafiksituationer är baserat på en så kallad "top-down" modell. I Figur 3.10 redovisas den principiella gången i arbetet. Det totala antalet fordonskilometer, hämtade från SIKAs och VTIs trafikarbetsmodell (Edwards *et al.* 1999, Björketun och Nilsson 2007), har fördelats på de tre väghållarna statligt, kommunalt och enskilt. För varje väghållare skattades andelen av trafikarbetet som går på landsbygd respektive i tätort. Tätortstrafikarbetet är dessutom uppdelat på tre olika tätortsklasser, med utgångspunkt ifrån befolkningens mängd. Därefter beräknades fördelningen över olika väg och gatutyper samt trafikförhållanden. Det sistnämnda görs genom en översättningsnyckel mellan det svenska klassningssystemet i Vägdatatabanken, VDB och Nationella Vägdatatabasen, NVDB och ARTEMIS väglklasser samt med hjälp av uppgifter om ÅDT som fördelas över årets timmar med så kallade rangkurvor för trafikens fördelning över tiden.



Figur 3.10 Schematisk uppdelning av trafikarbete.

ARTEMIS kräver dessutom en uppdelning av hur olika fordonskategorier fördelas på motorvägar och icke-motorvägar. Därför fördelades trafikarbetet på motorväg och icke motorväg uppdelat på landsbygd och tätort separat för personbilar respektive lastbilar. Fördelningen av trafikarbetet på olika trafiksituationer gjordes för åren 1990, 1995, 1998, 2000 och 2004. Uppgifter om trafikarbetets fördelning mellan statligt, kommunalt och enskilt vägnät för olika år har hämtats från VTIs Trafikarbetsmodell (Edwards *et al.* 1999, Björketun och Nilsson 2007).

3.3.2 Omvandling till trafikarbete

Ådt_fordon och ådt_axelpar mäts inte årligen på alla vägar. De registrerade värdena måste därmed räknas upp eller ned baserat på aktuellt måttår. För detta användes uppräkningsindex från år 2004 som tillhandahölls av Vägverket. För år tidigare än 1993 saknas uppräkningsindex som baseras på trafikarbete, varför index som avser axelpar istället då har använts.

Omräkningen från ådt_axelpar till ådt_fordon för de länkar där flödet var angivet i axelpar gjordes med hjälp av index från Vägverkets Effektkatalog. Dessa index delas in efter tre vägkategorigrupper - europaväg, riksväg och primär länsväg samt sekundär och tertiär länsväg.

3.3.3 Uppdelning av trafikarbete på statliga vägar

För att beräkna andelen trafikarbete på statliga tätortsvägar respektive landsbygdsvägar användes VDB för respektive år, samt SCB:s tätortsskikt innehållande befolkningsdata för åren 1990, 1995, 2001 och 2004. Alla länkar i VDB som har sitt centrum utanför en tätortspolygon definierades som statliga landsbygdsvägar, medan alla länkar som har sitt centrum innanför en tätortspolygon definierades som statliga tätortsvägar.

3.3.4 Uppdelning av trafikarbete på kommunal/enskild väg

Data som ligger till grund för att fördela trafikarbetet på det kommunala och enskilda vägnätet på tätort respektive landsbygdsvägar har varit:

- SIMAIR-data (= data från simuleringar med SAMPERS-modellen som korrelerats mot trafikräkningar på vissa länkar) för Östergötlands län och Halmstads kommun, d.v.s. simulerade trafikflöden i ett vägnät som klassats enligt NVDB.
- inköpta dataanalyser avseende trafikarbetet på kommunalt vägnät uppdelat på tätort och landsbygd för Stockholm och Uppsala län från SLB-analys (Miljöförvaltningen Stockholms Stad). Vidare data rörande trafikarbete, befolkningstäthet och befolkning i samtliga tätorter i Stockholm och Uppsala län.
- tätortspolygoner med befolkningsstatistik från SCB.

3.3.5 Tätortsklasser

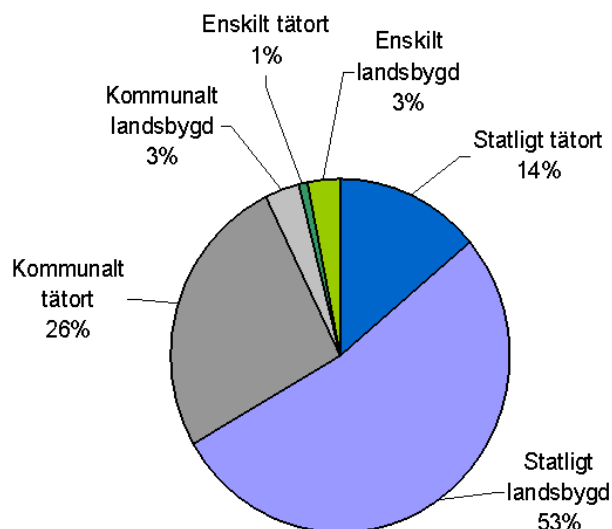
Målet var att ta fram andelar av det totala trafikarbetet för de olika trafiksituationerna i ARTEMIS-modellen. Eftersom det för det kommunala och enskilda vägnätet inte fanns tillgång till heltäckande data för hela Sverige klassificerades de tätorter som ingick i testregionerna (Halmstad, Östergötland, Stockholm och Uppsala) i tre tätortstyper: stora (>200 000 inv.), medelstora (50 000 – 199 999 inv.) och små (200 – 49 999 inv.). Denna klassificering var därefter utgångspunkt för att fördela trafikarbetet i tätort mellan trafiksituationer. Hypotesen var att fördelningen av fordonskilometer mellan olika trafiksituationer är beroende av tätortens storlek. Därför skattades en modell för hur tätortstrafikarbetet fördelar sig över de tre tätortstyperna.

Flera olika modellformer testades för att undersöka förhållandet mellan trafikarbetet i tätort och olika tätortsvariabler. De förklarande variabler som studerades var befolkning och tätortsyta. Det främsta kriteriet var att den totala fördelningen mellan landsbygd och tätort enligt föregående steg skulle reproduceras i så hög grad som möjligt. Detta resulterade i en enkel linjär modell med befolkning som förklarande variabel, se Ekvation 3.1. R² värdet för sambandet var 0,9971 med Stockholm inkluderat, respektive 0,9501 med Stockholm exkluderat.

Ekvation 3.1. Trafikarbete(tätort X) = 3975.81 * Befolkningen(tätort X)

3.3.6 Fördelning av trafikarbete på landsbygd och i tätort

Fördelningen av trafikarbete sammanställdes uppdelat på väghållare samt landsbygd och tätort, se Figur 3.11. De troligast mest tillförlitliga data är för det statliga vägnätet via VDB. Resultaten visar att 67% av det totala trafikarbetet går på det statliga vägnätet, vidare att 41% av det totala trafikarbetet går i tätort och alltså 59% på landsbygd.



Figur 3.11 Fördelning av trafikarbete år 2004.

Fördelningen av trafikarbetet på landsbygd respektive tätort uppskattades även för tunga och lätta fordon separat. Utgångspunkten var uppgifter från VDB respektive NVDB. För statligt vägnät (VDB) beräknades trafikarbetet med hjälp av ådt_fordon samt ådt_lb eller då dessa uppgifter saknades med hjälp av ådt_axelpar. För kommunalt och enskilt vägnät var utgångspunkten för beräkningen ådt_pb- och ådt_lb-simuleringar av trafikflöden med SAMPERS-modellen för vägnätet i Östergötland och Halmstad, klassat enligt NVDB, vilka gjordes i samband med framtagning av data för SIMAIR-modellen.

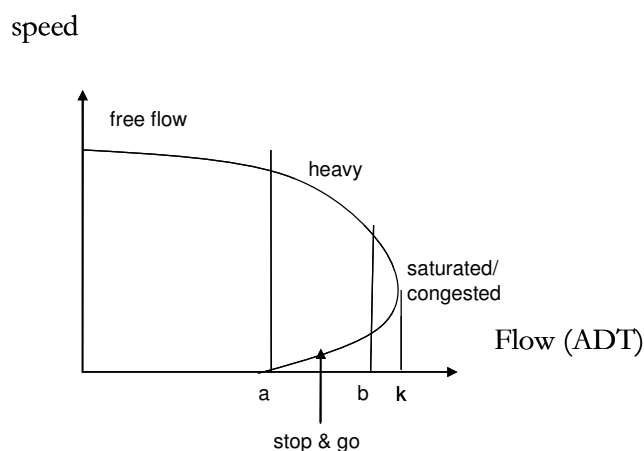
ARTEMIS-modellen kräver även att trafikarbetet är uppdelat på motorväg respektive icke motorväg för olika fordonskategorier. För att skatta detta användes VDB-data för 2004 samt SIMAIR/NVDB data för Östergötland och Halmstad.

3.3.7 Klassning av trafikförhållanden utifrån rangkurvor

ÅDT är inte jämnt fördelad över årets timmar. Dynamiska variationer över månader, veckodagar och dygnets timmar gör att flödet och därmed fordonens körmönster har olika karaktär beroende på när man betraktar en specifik väglänk. Med andra ord olika delar av trafikarbetet på en länk sker under olika trafikförhållanden, något som ARTEMIS tar hänsyn till via de fyra trafikflödesklasserna, fritt flöde ("free flow"), tät trafik ("heavy traffic"), trafik nära kapacitetsgräns ("saturated") samt mycket stort trafikflöde ("stop and go"), som finns för varje vägkategori

För att fördela trafikarbetet över ARTEMIS fyra trafikflödesklasser på olika vägar, användes så kallade rangkurvor för den årliga fördelningen av ÅDT, uppdelade på lätta och tunga fordon.

Rangkurvorna baseras på mätningar av trafikflödets fördelning över årets timmar för olika vägtyper (Björketun *et al.*, 2005; Jensen, 1997). Med hjälp av rangkurvor beräknades trafikflöde och trafikarbete för samtliga länkar i statligt vägnät för fyra olika kategorier av årets timmar (från de mest belastade = rang 1 till de lägst belastade = rang 4). Samma beräkningar utfördes också för kommunala och privata vägar i testregionerna Östergötland, Halmstad kommun och Stockholmsområdet (där nya trafiksimuleringar utfördes för att representera trafikflöden i storstäder). Vägar i städer och vägar på landsbygd har olika rangkurvor varför dessa behandlades separat. Resultatet, trafikflöde per körfält och timma vid olika rangklasser, relaterades till funktioner som beskriver förhållandet mellan trafikvolym och fördröjning enligt principen beskriven i Figur 3.12, och en preliminär klassificering i trafikflödena ”free flow”, ”heavy” och ”saturated” genomfördes med hjälp av Tabell 3.2. Gränser för olika trafikförhållanden extraherades från så kallade ”volume delay functions” enligt Matstoms (2004).

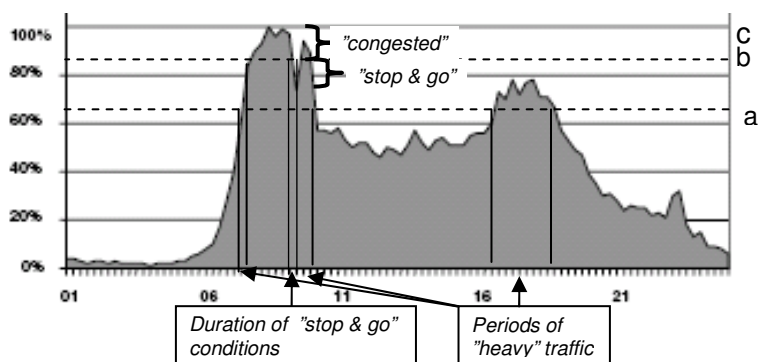


Figur 3.12 Principiellt samband mellan flöde och hastighet (Matstoms, 2004)

Tabell 3.2 Princip för klassifiering i flödesklasserna 1-3 (”free flow”, ”heavy” och ”saturated”) baserat på vägars hastighetsgräns och flöden (fordon/körfält*h).

Hastighetsgräns	Kapacitetsgräns (k i figur 3.12)	Free (1) (a i figur 3.12)	Heavy (2)	Saturated/Congested (3) (b i figur 3.12)
90+	2000	<1300	1300-1700	>=1700
70	1550	<600	600-1300	>=1300
50-	1150	<600	600-900	>=900

Det är inte möjligt att från endast trafikflöde bestämma om ett flöde mellan "free flow" (a i Figur 3.12) och "saturated" (b i Figur 3.12) beror på att maxkapaciteten överskrids ("stop and go") eller om det är ett lägre flöde ("heavy"). Därför är det inte möjligt att kvantifiera trafikarbetet vid "stop and go"-förhållande enbart med utgångspunkt från Figur 3.12 och Tabell 3.2. För att lösa detta gjordes två antaganden: 1) "stop and go" förekommer bara på väglänkar som har nått sin kapacitetsgräns (c i Figur 3.12), och för dessa vägar antogs att "stop and go" utgör en fix andel av det preliminärt uppskattade trafikarbetet i flödesklassen "heavy". Vid studier av flödets dygnsvariation på vägar där efterfrågan i högtrafik överstiger kapacitetsgräns, t ex enligt Figur 3.13, kunde man urskilja att en lokal minskning av flödet ibland uppkom inom ramen för en period med mättat flöde i högtrafik (när flödet är nära kapacitetsgränsen). Denna period antogs vara en "stop and go"-period. Baserat på detta gjordes antagandet att för länkar som når kapacitetsgränsen utgörs 14% av trafikarbetet som från början klassificerats till "heavy" vara under "stop and go"-förhållanden. Trafikarbetet summerades slutligen över alla vägtyper och trafikförhållanden och översattes till ARTEMIS trafiksituationer.



Figur 3.13 Princip för kvantifiering av "stop and go"-förhållanden på vägar som uppnår kapacitetsgräns ("saturated") i högtrafik. a, b och c refererar till Figur 3.12.

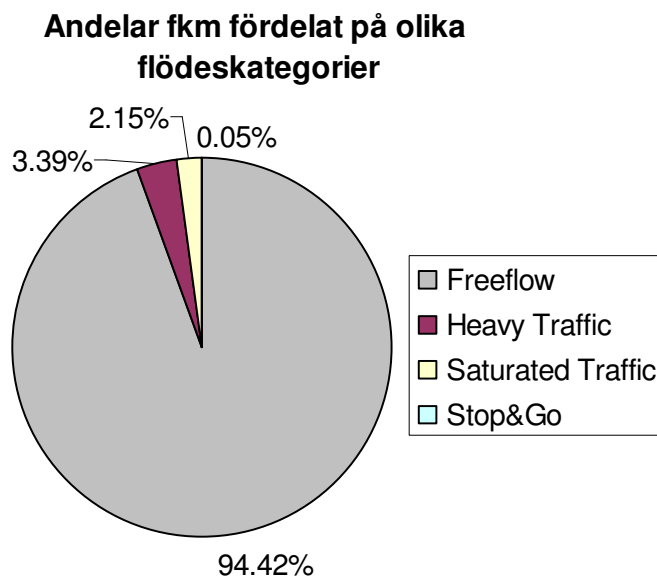
3.3.8 Klassning av vägkategorier och fördelning av trafikarbetet över trafiksituationerna

I VDB samt i NVDB är vägnätet klassat enligt delvis andra kriterier än de som anges i ARTEMIS. En översättningsnyckel gjordes därför mellan respektive klassningssystem.

Trafikarbetet summerades slutligen över de olika vägklasserna och respektive trafikförhållanden så att en fördelning av trafikarbetet över ARTEMIS trafiksituationer i Sverige erhöles. Totalt återfanns i Sverige 85 av de totalt 276 trafiksituationerna i ARTEMIS, varav 45 på landsbygd och 40 i tätort. I Tabell 3.3 visas de fem vanligaste trafiksituationerna i Sverige. Den enskilt vanligast förekommande trafiksituationen är 90-väg på landsbygd med "free flow"-förhållanden. Figur 3.14 visas den svenska fördelningen mellan de fyra flödesklasserna. Över 94% av trafikarbetet sker under "free flow"-förhållanden, medan andelen "stop & go"-körning är bara 0.05%.

Tabell 3.3 De fem vanligaste trafiksituationerna i Sverige.

Description of traffic situation	% of veh km
Rural / Distributor-District connection / Speed limit: 90 km/h / Free flow	21.3%
Rural / Distributor-District connection / Speed limit: 70 km/h / Free flow	11.1%
Rural / Motorway / Speed limit: 110 km/h / Free flow	10.7%
Urban / Local collector / Speed limit: 50 km/h / Free flow	9.7%
Urban / Access-Residential / Speed limit: 50 km/h / Free flow	6.6%
Totalt	59.4%



Figur 3.14 Det svenska trafikarbetets fördelning på ARTEMIS trafikflödesklasser.

3.4 Kompletterande mätningar på svenska fordon

AVL MTC:s primära roll inom projektet har varit att med utgångspunkt i den befintliga emissionsdatabas, som arbetats fram i det europeiska samarbetet kring ARTEMIS och Cost 346, identifiera och komplettera faktorer som kan anses representera svenska förhållanden. Förutom de i projektet genomförda testerna har även resultat från mätningar som utförts i andra nationella projekt tillställts den internationella emissionsdatabasen.

3.4.1 Fordonsprov lätta fordon (personbilar)

Här beskrivs de faktorer som ansetts intressanta att komplettera ARTEMIS-databasen med, och där provning utförts på personbilar. Provningsmetoden innefattade mätning av koloxid, kolväten, kväveoxider, koldioxid, partiklar (i förekommande fall) samt bränsleförbrukning. För en resultatsammanställning hänvisas till slutrapporten för Fas 1 för föreliggande projekt (Sjödin *et al.*, 2009).

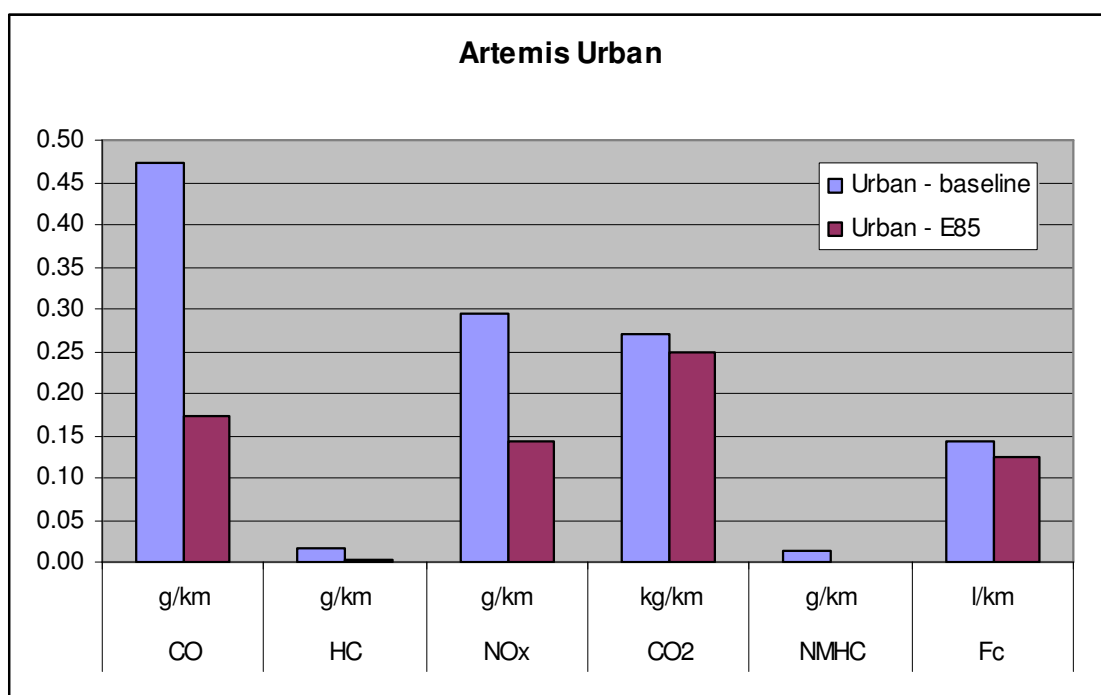
- 1) effekter på emissioner av väglutning
- 2) emissioner vid låga temperaturer, diesel
- 3) bränsleförbrukning och avgasemissioner som funktion av fordonsvikt
- 4) effekter med/utan luftkonditionering
- 5) emissioner vid låga hastigheter (t. ex. kryp- och kökörning)
- 6) partikelemissioner från bensinbilar
- 7) effekter på avgasemissioner av E85

De körcykler som främst använts vid provning av personbilarna på chassidynamometer är NEDC och ARTEMIS. NEDC (New European Driving Cycle) används vid certifiering av lätta fordon inom EU. ARTEMIS-körcykeln består av tre delar som simulerar olika körmoder (se avsnitt 3.1).

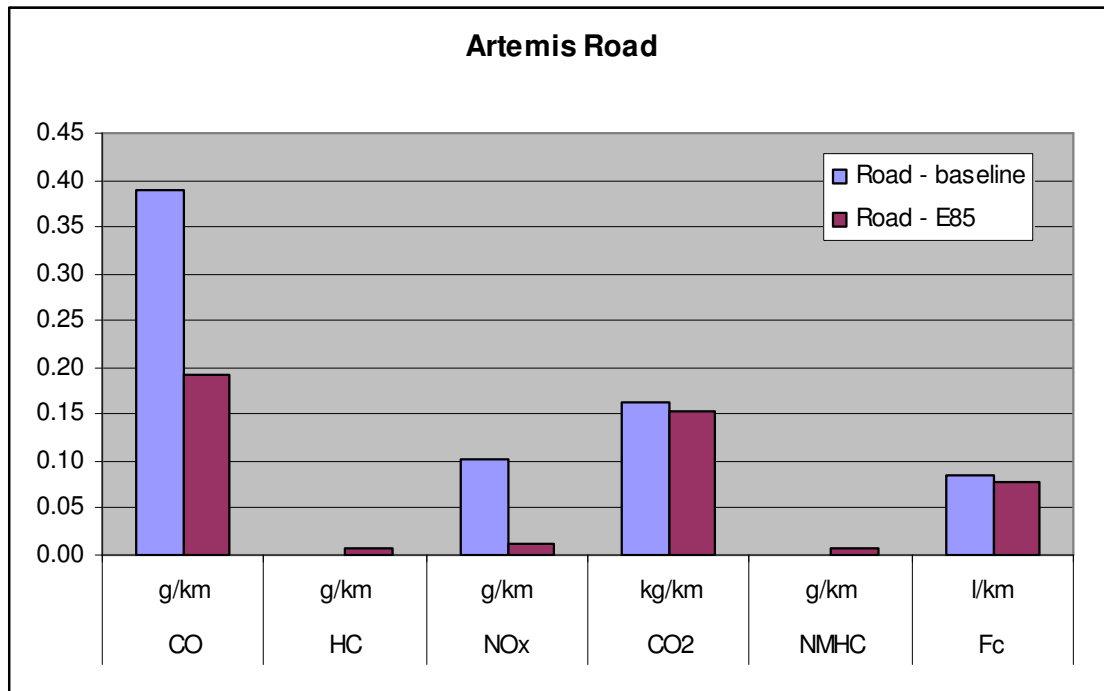
Här följer en kort genomgång av resultat som kan vara av intresse:

- 1) Data på effekter av lutningseffekter är bristfälligt representerade i ARTEMIS-databasen. Inom ramen för projektet testades effekterna av både nedförs- och uppförslutning för ARTEMIS -körcykeln tre delar (se avsnitt 3.1). I både ARTEMIS Road och ARTEMIS Highway gav simulering av uppförsbacke kraftigt förhöjda utsläpp av främst koloxid.
- 2) Tidigare mätningar har påvisat att provning vid minusgrader har en kraftig inverkan på utsläpp av vissa föroreningar. Här användes moderna dieseldrivna fordon som testades i ARTEMIS-körcykeln samt NEDC vid -7°C. Jämfört med prov vid rumstemperatur ökade utsläppen av samtliga reglerade komponenter vid minusgrader.
- 3) En analys gjordes av bränsleförbrukning som funktion av fordonsvikt. Här användes den provning som utförts under tidigare hållbarhetsprogram (A60) för personbilar. Även om det framför allt är bränsleförbrukningen som påverkas av fordonsvikt, kunde man även se - vad gäller reglerade föroreningar - att utsläppen av CO ökade med ökande fordonsvikt.
- 4) Påverkan på emissionerna vid användning av luftkonditionering utvärderades. Proverna utfördes med ARTEMIS -körcykelns tre delar. I ARTEMIS Urban ökade utsläppen av NO_x och CO₂ vid användandet av luftkonditionering. I ARTEMIS Road ökade utsläppen av CO och CO₂, medan utsläppen av NO_x minskade. För ARTEMIS Highway observerades den kraftigaste ökningen för CO. Bränsleförbrukningen ökade i samtliga tre delar av ARTEMIS-körcykeln vid användning av luftkonditionering.

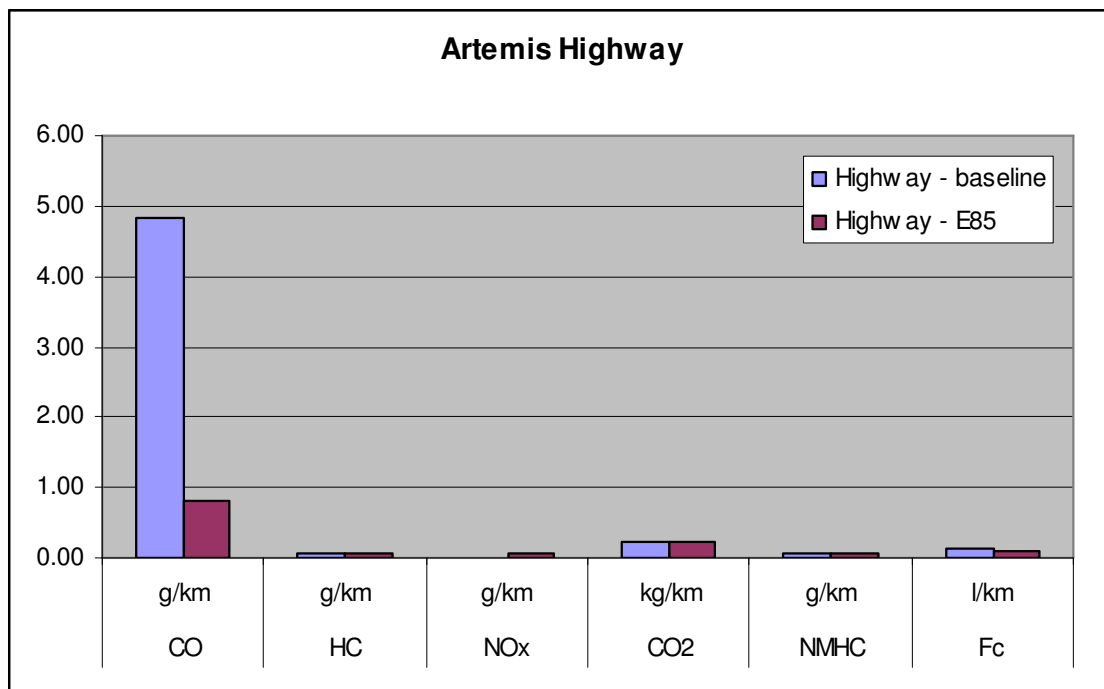
- 5) Det blir fler och fler bilar, och kösituationer uppkommer ständigt i framför allt tätorter. De utsläpp som genereras vid sådana situationer studerades enligt specifik körcykel.
- 6) I Sverige dominerar bensin som drivmedel för personbilar, till skillnad mot Europa där det främst är dieseldrivna personbilar som körs. Detta återspeglas även i ARTEMIS-databasen, där data på partikelemissioner från bensinbilar är mycket bristfälliga, delvis på grund av att partikelmätningar inte ingår i certifieringen för bensindrivna personbilar.
- 7) I Sverige har intresset för etanolinblandning i bensin och användningen av E85 ökat markant på senare år. Effekterna av detta har studerats, se Figur 3.15-3-17. En Ford Focus FFV testades med referensbensin och E85. De största skillnaderna är i högfartsdelen (ARTEMIS Highway), men utsläppen av CO är högre vid bensindrift i alla tre körcyklerna.



Figur 3.15 Utsläpp från en flexifuelbil vid körning på bensin jämfört med vid körning på E85 i körcykeln ARTEMIS Urban.



Figur 3.16 Utsläpp från en flexifuelbil vid körning på bensin jämfört med vid körning på E85 i körcykeln ARTEMIS Road.



Figur 3.17 Utsläpp från en flexifuelbil vid körning på bensin jämfört med vid körning på E85 i körcykeln ARTEMIS Highway.

3.4.2 Program för hållbarhetsprovning för tunga fordon - ombordmätningar med PEMS

På uppdrag av Vägverket har AVL MTC genomfört hållbarhetsprovning på tunga fordon (dvs fordon med en totalvikt över 3500 kg) i den svenska bilparken. Före 2006 var hållbarhetsprovningen främst inriktad på lätta fordon, och resultat från denna provning har vidarebefordrats för att inkluderas i ARTEMIS-databasen. Åren 2006-2008 genomförde AVL MTC mätningar på tunga fordon, och TÜV Nord utförde mätningar på lätta fordon. Resultaten från dessa mätningar har också vidarebefordrats för att inkluderas i ARTEMIS-databasen.

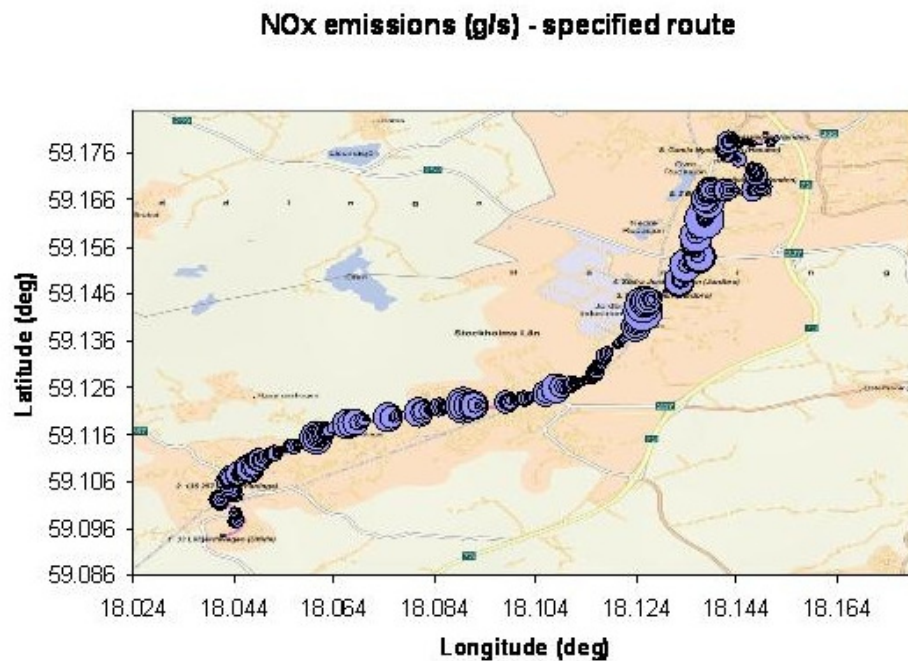
AVL MTC har även på uppdrag av Vägverket ingått i ett europeiskt samarbete för att utveckla en metod för hållbarhetsprovning på tunga fordon. Inom EU är man främst inriktad på att genomföra denna hållbarhetsprovning med hjälp av ombordmätning, vilken även benämns PEMS – Portable Emission Measurement System, se Figur 3.18. I denna arbetsgrupp finns bland annat representanter från de tunga fordonstillverkarna i Europa och även tillverkare av ombordmätningssystem.



Figur 3.18 Ombordmätning av emissioner i verklig trafik med PEMS:.

Med hjälp av PEMS kan man utvärdera utsläppen från fordon i verklig trafik i sin rätta trafikmiljö. Systemet består av en avgasflödesmätare som kopplas till befintligt avgasrör, härifrån går slangar till en kompakt låda innehållande analysinstrument. Systemet kan än så länge mäta utsläpp av koloxid, kolväten, kväveoxider och koldioxid (bränsleförbrukning utvärderas med hjälp av kolbalansmetoden). Det pågår även arbete för att få fram ombordmätutrustning för partiklar.

Denna typ av instrument fungerar mycket bra för att studera emissionssamband och emissionsfaktorer. Den är kompletterad med GPS och man har möjlighet att koppla utomstående förhållanden, så som rödljus, accelerationer, uppförsbackar etc direkt till de genererade utsläppen. Ett exempel på detta ges i Figur 3.19. I det europeiska samarbetet ingår att resultaten från dessa mätningar skickas vidare för att inkluderas i gemensamma emissionsdatabaser.



Figur 3.19 Utsläpp av NO_x i verklig trafik uppmätt med PEMS utanför Stockholm.

3.5 Resulteraende nationell emissionsstatistik

Ett av de viktigare syftena med föreliggande projekt var att implementera ARTEMIS-modellen i den nationella emissionsstatistik som Sverige använder för sin internationella utsläppsrapportering. Det är i huvudsak tre mottagare av denna statistik:

- FN:s klimatkonvention - UNFCCC (UNFCCC 2009) - klimatrapporteringen - som även omfattar Kyoto-avtalet.
- Konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar - CLRTAP (UNECE 2009).
- EU:s taktidirektiv (EU 2009).

Till UNFCCC rapporteras utsläpp av de direkta växthusgaserna - CO₂, CH₄, N₂O och F-gaser - och indirekta växthusgaser - SO₂, NO_x, NMVOC och CO. Rapporteringen sker för vägtrafiksektorn som helhet (ingen uppdelning på olika fordonskategorier), men uppdelat på olika bränslen: bensin, diesel etc. Även förbrukade (beräknade "bottom-up", t. ex. med ARTEMIS) samt levererade (beräknade "top-down" från leveransstatistik) bränslemängder rapporteras till UNFCCC.

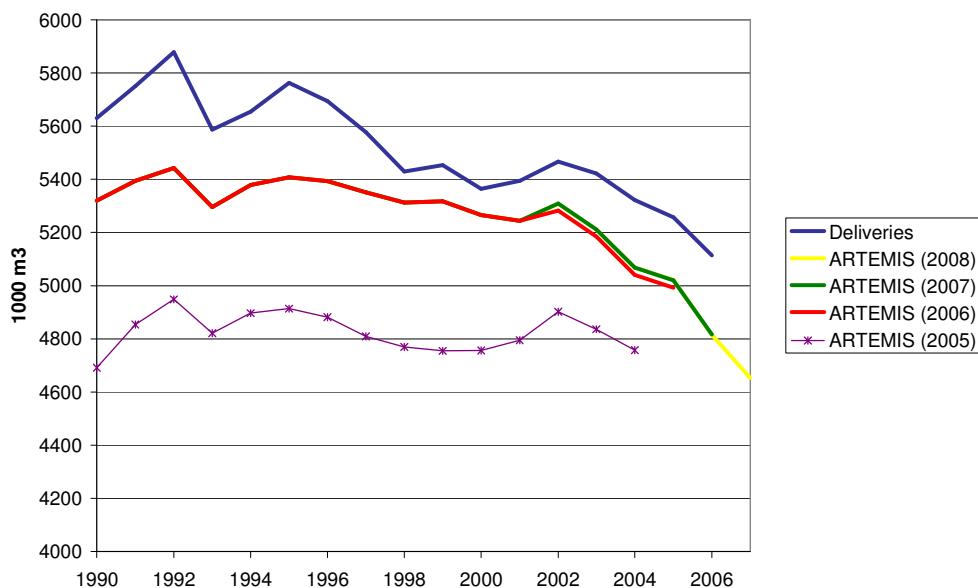
Till CLRTAP rapporteras utsläpp av en lång rad luftföroreningar - SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃, partiklar, vissa metaller, främst tungmetaller, PAH, m. fl. (men inga växthusgaser). Rapporteringen för vägtrafiksektorn sker på fordonskategorinivå utan uppdelning på bränsleslag - personbilar, lätta lastbilar, tunga fordon samt moped + mc. Dessutom rapporteras avdunstning av NMVOC separat liksom utsläpp av partiklar från broms- och däckslitage respektive från vägsitage. Rapporteringen till EU:s taktidirektiv utgör en delmängd av rapporteringen till CLRTAP avgränsad till ämnena SO₂, NO_x, NMVOC och NH₃.

Implementeringen av ARTEMIS-modellen i den svenska utsläppsrapporteringen skedde i två steg:

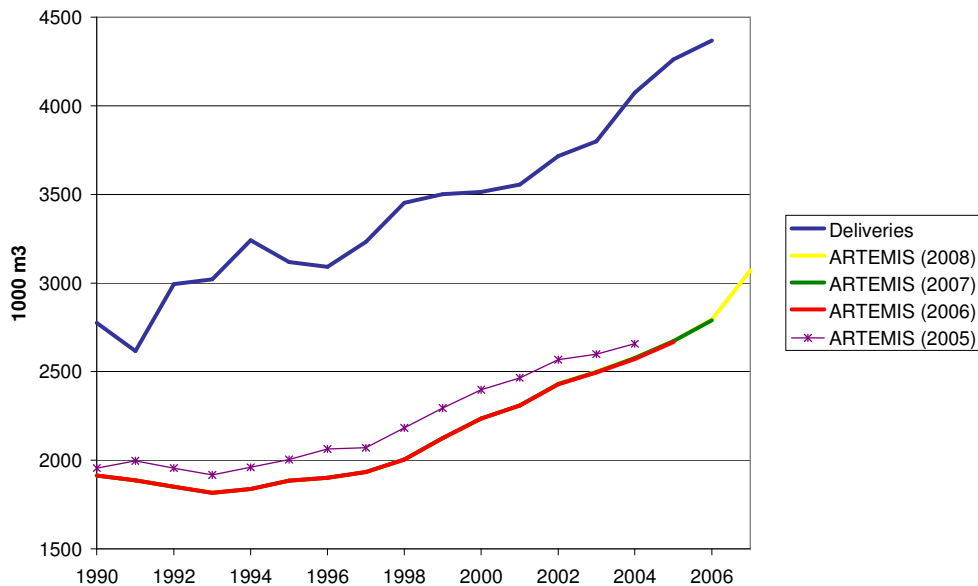
- Steg 1: Utsläpp av de direkta växthusgaserna (CO₂, CH₄, och N₂O) i klimatrapporteringen från och med submissionsår 2006 (motsvarande första rapporteringen under Kyoto-avtalet).
- Steg 2: Utsläpp av de indirekta växthusgaserna i klimatrapporteringen samt till CLRTAP och EU:s taktidirektiv från och med submissionsår 2007.

Skälet till denna uppdelning var att ARTEMIS-modellen i sin helhet stod färdig först mycket sent innan Sveriges rapportering till klimatkonventionen och Kyoto-avtalet hösten 2005. Kvalitets-säkrings- och verifieringsarbetet av ARTEMIS-modellen under hösten 2005 inom föreliggande projekt kunde påvisa att modellen inte höll tillräcklig kvalitet för de indirekta växthusgaserna, varför den uppdaterade EMV-modellen fick användas för dessa samt för Sveriges rapportering till CLRTAP och EU:s taktidirektiv. Under 2006 upptäcktes vid fortsatta granskningar av modellen dessutom brister i modellens beräkningar av framför allt bränsleförbrukning och därmed CO₂-utsläpp. Efter att modellen reviderats utifrån dessa påpekanden från svenskt håll, kunde den tillämpas fullt ut i Sveriges internationella utsläppsrapportering från och med 2006. Därefter har endast vissa smärre justeringar gjorts av modellen, rättningar av buggar etc.

Figur 3.20 och 3.21 visar resultaten från beräkningar av den totala bensin- respektive diesel-förbrukningen inom vägtrafiksektorn med ARTEMIS-modellen för olika beräkningsår, som använts i Sveriges klimatrapportering.



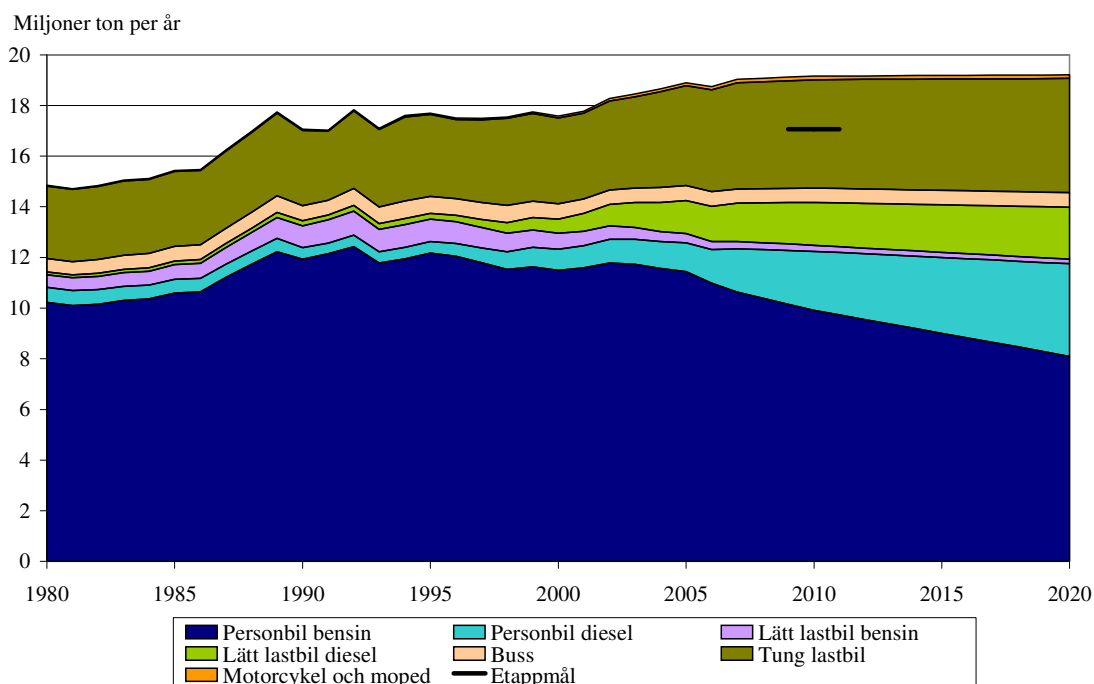
Figur 3.20 Förbrukad mängd bensin (1000 m³) inom vägtrafiksektorn totalt i Sverige enligt ARTEMIS för beräkningsåren 2005 till och med 2008. I diagrammet redovisas även totala leveranser av bensin i Sverige.



Figur 3.21 Förbrukad mängd diesel (1000 m³) inom vägtrafiksektorn totalt i Sverige enligt ARTEMIS för beräkningsåren 2005 till och med 2008. I diagrammet redovisas även totala leveranser av diesel i Sverige.

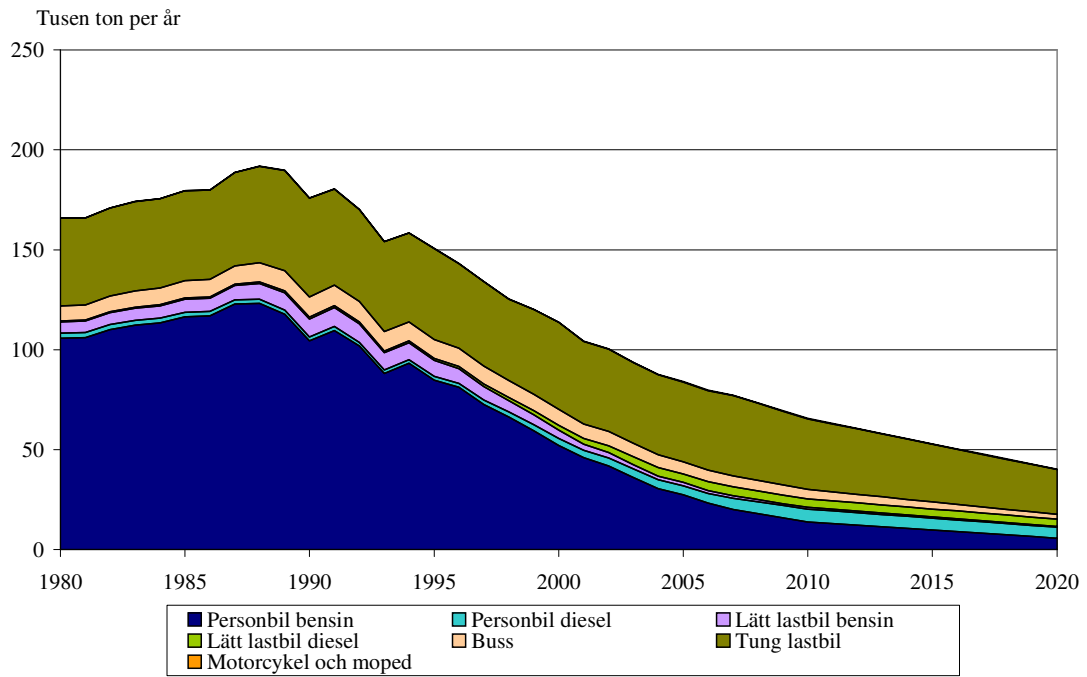
Figur 3.20 och 3.21 uttrycker - med beaktande av att såväl bensin som diesel förbrukas inom andra sektorer än inom vägtrafiksektorn - att ARTEMIS-modellen ger en realistisk bild av den svenska vägtrafikens faktiska bränsleförbrukning, såväl historiskt som i nutid. Intressant att notera är att dieselförbrukningen ökat stadigt sedan 1990, medan bensinförbrukningen minskat. Beträffande förbrukningen av bensin inom vägtrafiksektorn så domineras den helt (>95%) av kategorin personbilar. Vad gäller diesel så svarar den tunga trafiken (tung lastbilar och bussar) idag för omkring 65% av vägtrafikens totala förbrukning, medan de lätta fordonen sammantaget alltså svarar för omkring 35%, fördelat ungefär lika mellan personbilar respektive lätta lastbilar/bussar. De lätta fordonens andel av dieselförbrukningen har ökat kraftigt sedan början av 1990-talet, då de svarade för bara 15% av förbrukningen. Intressant att notera är också att personbilarnas dieselanvändning har mer än fördubblats under den senaste tioårsperioden.

I Figur 3.22 presenteras resultat från de senaste officiella beräkningarna av den svenska vägtrafikens utsläpp av CO₂ med ARTEMIS-modellen, omfattande statistik till och med utsläppsåret 2007. Beräkningarna omfattar statistik från och med 1980 fram till och med 2007, samt en prognos för perioden 2008-2020. Totalt sett är trenden stigande sedan 1980, vilket innebär att det nationella etappmålet för 2010 (utsläppen på samma nivå som för 1990) förefaller svårt att nå. Efter att ha ökat fram till omkring 1990, har utsläppen från personbilar legat på en ganska konstant nivå, medan utsläppen från lastbilar, såväl tunga som lätta, uppvisar en stadig ökning.

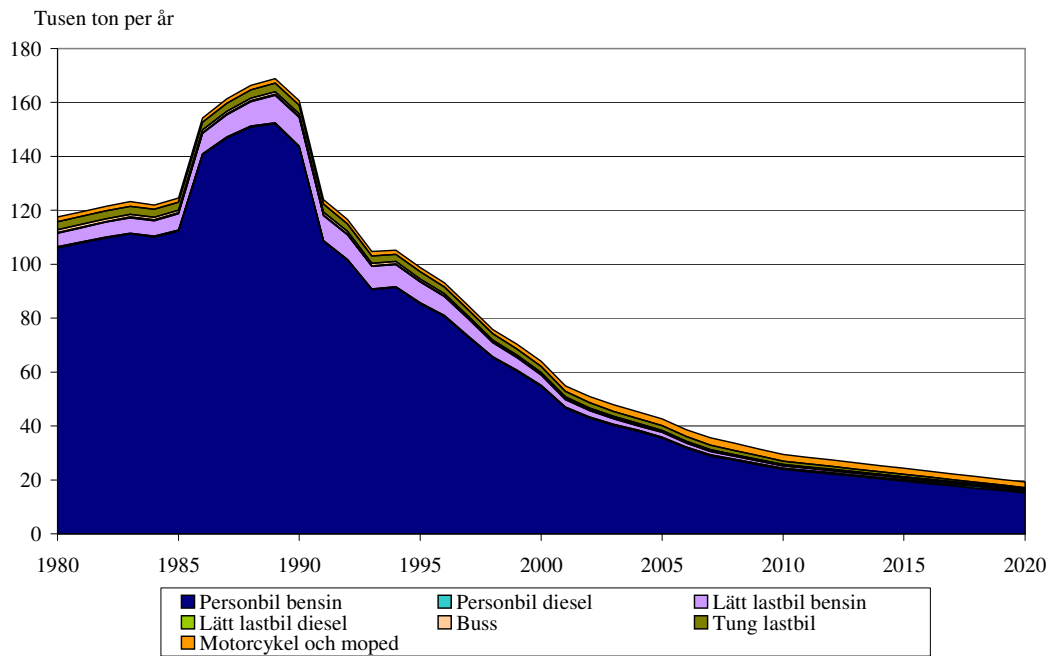


Figur 3.22 Utsläpp av CO₂ från svensk vägtrafik enligt beräkningar med ARTEMIS-modellen för Vägverkets sektorsredovisning och Sveriges klimatrapporering 2008: Statistik för perioden 1980-2007 respektive prognos för perioden 2008-2020.

I Figur 3.23 och 3.24 åskådliggörs den kraftiga minskning i NO_x-utsläpp och framför allt HC-utsläpp som skett sedan omkring 1990 - cirka 60% respektive 80% fram till idag, och ytterligare kraftiga reduktioner fram till 2020.



Figur 3.23 Som Figur 3.19 - för kväveoxider, NO_x.



Figur 3.24 Som Figur 3.19 - för kolväten, HC.

3.6 Jämförelser med tidigare nationell modell - EMV

Fram till och med år 2004 (motsvarande submission 2005, innefattande år 2003 som senaste rapporterade utsläppår) användes EMV-modellen (VTI 1998) för Sveriges internationella utsläppsrapportering och officiella emissionsstatistik för vägtrafiksektorn. I samband med att beslutet togs om att Sverige skulle gå över till ARTEMIS-modellen, gjordes en omfattande översyn och uppdatering av EMV-modellen. Denna innebar bland annat att svenska indata i form av aktivitetsdata (trafikarbete, fordonsammansättning m. m.) uppdaterades i EMV (VTI 2004) för att motsvara svenska indata till ARTEMIS i så hög utsträckning som möjligt.

Rent generellt avviker EMV från ARTEMIS på bland annat följande punkter:

- att kallstarteffekter beskrivs med korrektionsfaktorer
- att alla bilar kan beskrivas med eller utan släp
- att lastfaktor kan beskrivas för alla fordonskategorier
- att antalet trafiksituationer endast är två (tätortskörning respektive landsvägskörning)
- att partikelutsläpp för bensindrivna fordon kan beskrivas
- att inverkan av bränslekvalitet inte kan beskrivas
- att inverkan av meteorologiska förhållanden på avdunstning inte beskrivs.

De korrektionsfaktorer för kallstarttillägg som används i EMV är beräknade med ett datorprogram, COLDSTART. Detta program arbetar med en finare upplösning än vad som används i modellen för kallstarteffekter i ARTEMIS. I princip beskrivs alla motorstarter i Sverige under ett år med rumslig och tidsmässig uppdelning. Den rumsliga uppdelningen omfattar: en geografisk indelning; indelning efter olika startplatser och en indelning efter olika parkeringsförhållanden. Beräkningsprincipen är att beräkna motortemperatur för varje start och därefter beräkna kallstarttillägg som funktion av starttemperatur.

För personbilar utgör trafikarbetet med tillkopplat släp ca 4 % av totala trafikarbetet. För personbil på landsväg ger körning med släp en förhöjd förbrukning av ca 50 %. Det finns en betydande variation i släpanvändning över året till följd av husvagnsanvändningen sommartid.

En brist i ARTEMIS är att lastfaktor endast kan beskrivas för tunga lastbilar (HGV). En fördel jämfört med EMV är att lastfaktor kan beskrivas som funktion av fordonsålder.

I EMV ingår endast två trafiksituationer. Därmed ger ARTEMIS helt andra möjligheterna till lokal anpassning av utsläppsberäkningar. I ARTEMIS kan också vägens lutning beaktas i indata.

En brist i ARTEMIS för närvarande är att modellen inte omfattar partikelutsläpp från bensindrivna fordon.

ARTEMIS kan beskriva inverkan på emissioner av olika bränslekvaliteter, totalt sex kvaliteter. En nackdel är att specifikationerna är låsta till vad som kan avvika betydligt från svensk bränslekvalitet.

Till skillnad från EMV kan ARTEMIS beskriva inverkan på avdunstning av bensinens ångtryck, temperaturvariation under dygnet och körförhållanden. ARTEMIS ger väsentligt större utsläpp från avdunstning än EMV.

Emissionsfaktorerna i ARTEMIS baseras för lätta fordon enbart på mätdata medan emissionsfaktorer för tunga fordon är beräknade med en simuleringsmodell. Detta upplägg motsvarar vad som också gäller för EMV. Vad som i EMV benämns landsväg motsvarar för tunga fordon simuleringar baserade på indata med vägbeskrivningar för det svenska landsvägsnätet. Trafik-

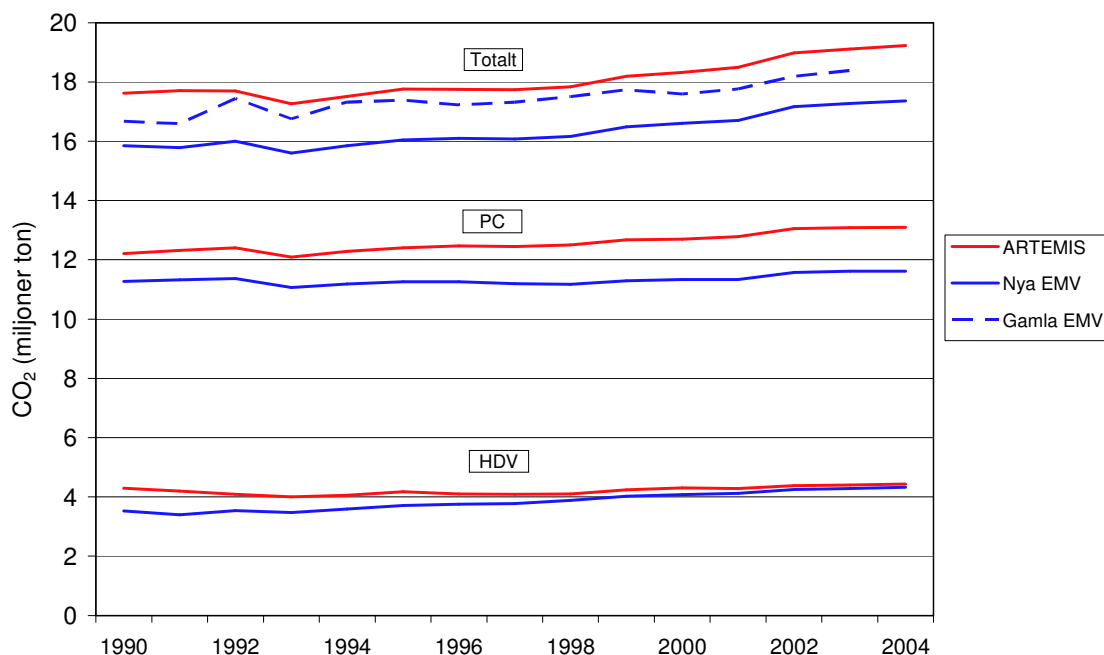
situationen har fått motsvara fritt trafikflöde, vilket bör kunna ge en representativ beskrivning speciellt för tunga fordon. Vägbeskrivningarna omfattar både lutningar och horisontalkurvor. Körmonster genereras av simuleringsmodellen som funktion av eftersträvad hastighet på rak väg med olika bredd och hastighetsgräns, reduktion av eftersträvad hastighet som funktion av horisontalradie samt fordonsprestanda och förarbeteende.

Antalet segment inom kategorin tunga lastbilar är 14 i ARTEMIS att jämföra med fyra i EMV. Möjligheterna till en representativ beskrivning av utsläppen bör öka med ökande antal segment.

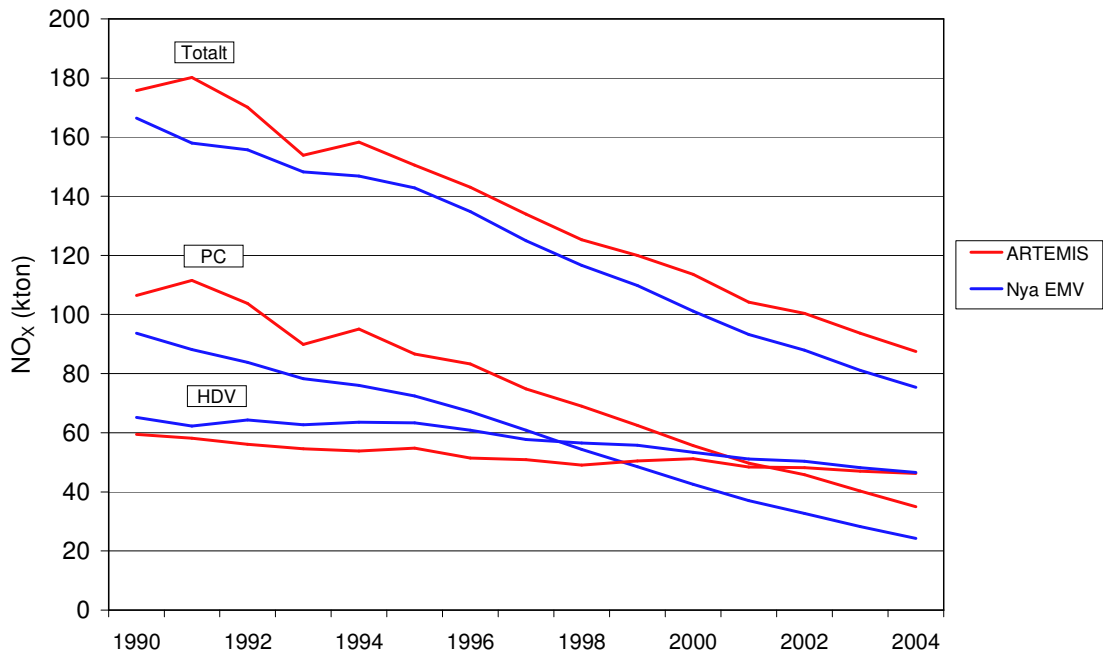
Både EMV och ARTEMIS kan beskriva utvecklingen av fordonsparkens åldersfördelning per segment som funktion av åldersfördelningar ett basår. Indata för framtid är i båda modellerna totala antalet fordon per kategori och år. ARTEMIS-modellen bör kunna ge en mera representativ beskrivning genom att åldersfördelning för nya bilar kan beaktas.

I Figur 3.25 till och med 3.27 visas jämförelser mellan ARTEMIS och EMV avseende tidsserien 1990-2004 för den svenska vägtrafikens utsläpp av CO₂, NO_x samt HC. Jämförelsen avser den senaste versionen av ARTEMIS-modellen - 0.4d.

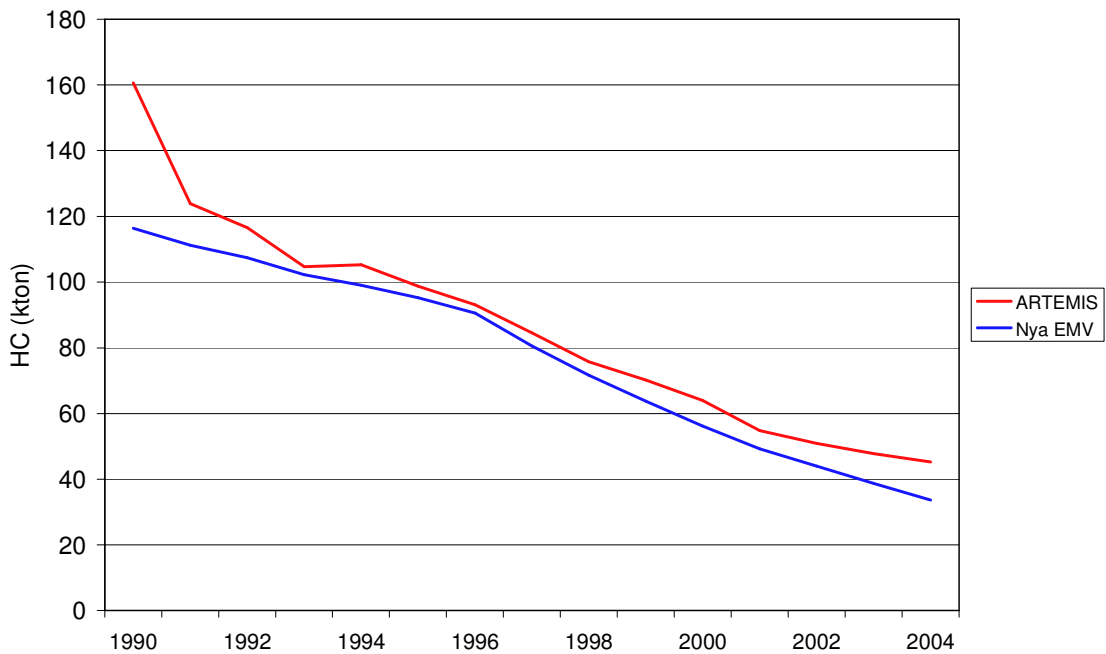
Av Figur 3.25 framgår att ARTEMIS ger högre totala CO₂-utsläpp jämfört med både nya och gamla EMV, främst till följd av högre CO₂-utsläpp från personbilar, men även för tunga fordon (lastbilar och bussar). Trenden för CO₂-utsläppen 1990-2004 är dock relativt lika mellan modellerna. Ungefär detsamma gäller för utsläppen av NO_x och HC (Figur 3.26 respektive 3.27). För NO_x från tunga fordon är dock förhållandet det omvända, med högre utsläpp enligt EMV fram till den senare delen av tidsserien, varefter modellerna stämmer väl överens.



Figur 3.25 Utsläpp av CO₂ från svensk vägtrafik 1990-2004 enligt ARTEMIS respektive enligt nya (fr. o. m 2005) och gamla (t. o. m. 2004) versionen av EMV.



Figur 3.26 Utsläpp av NO_x från svensk vägtrafik 1990-2004 enligt ARTEMIS respektive enligt nya EMV-modellen, totalt samt uppdelat på personbilar respektive tunga fordon.



Figur 3.27 Utsläpp av kolväten HC från svensk vägtrafik 1990-2004 enligt ARTEMIS respektive enligt nya EMV-modellen.

3.7 Verifiering av ARTEMIS-modellen mot data från emissionsmätningar i verklig trafik

Inom projektet utfördes mätningar i verklig trafik för att validera ARTEMIS modellen. Mätningarna omfattade dels tunnelmätningar, dels mätningar med så kallad FEAT-teknik ("remote sensing" - mätningar av utsläpp från enskilda fordon från vägkanten med fjärranalysteknik).

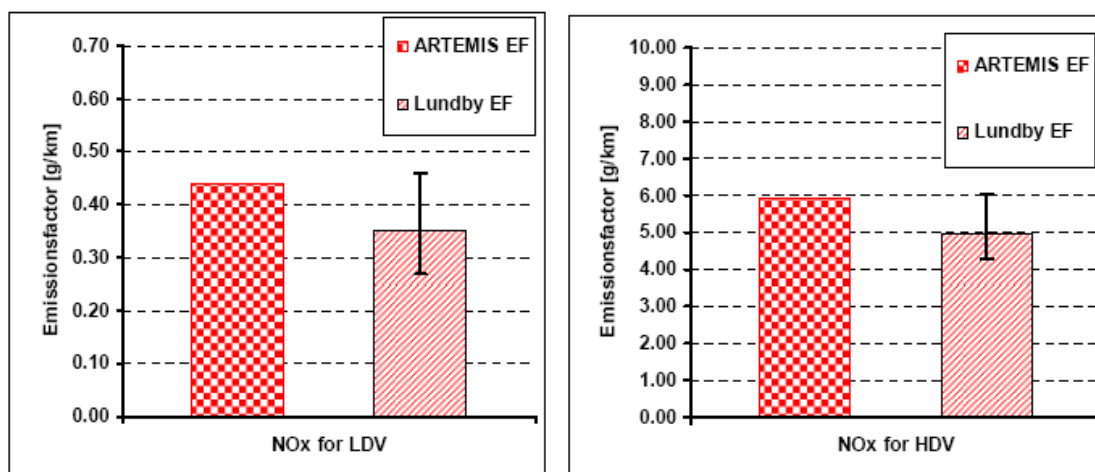
3.7.1 Tunnelmätningar inom ARTEMIS-projektet 2001

Inom WP1200 "Validation" inom ARTEMIS projektet genomfördes tre mätkampanjer med tunnelmätningar i olika europeiska tunnlar, bland annat Lundbytunneln i Göteborg (Rodler *et al.*, 2005). Målet var att bestämma emissionsfaktorer för olika avgaskomponenter (NO_x, CO, CO₂, HC mfl.) och partiklar (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ samt submikron storleksfördelning).

En statistisk analys på mätdata från Lundbytunneln utfördes. Beräkningarna gjordes separat för två delsträckor, en med lutning -2.7 % och en med +0.6 % lutning. Metoden och detaljerade resultat beskrivs i en artikel publicerad 2004 (Colberg *et al.*, 2004).

De uppmätta CO₂-emissionsfaktorerna för lätta fordon avvek inte signifikant från emissionsfaktorerna beräknade med ARTEMIS-modellen (viktade med avseende på sammansättningen av fordonen i tunneln). Inte heller för CO avvek de uppmätta emissionsfaktorerna för lätta fordon signifikant från de som beräknades med ARTEMIS-modellen.

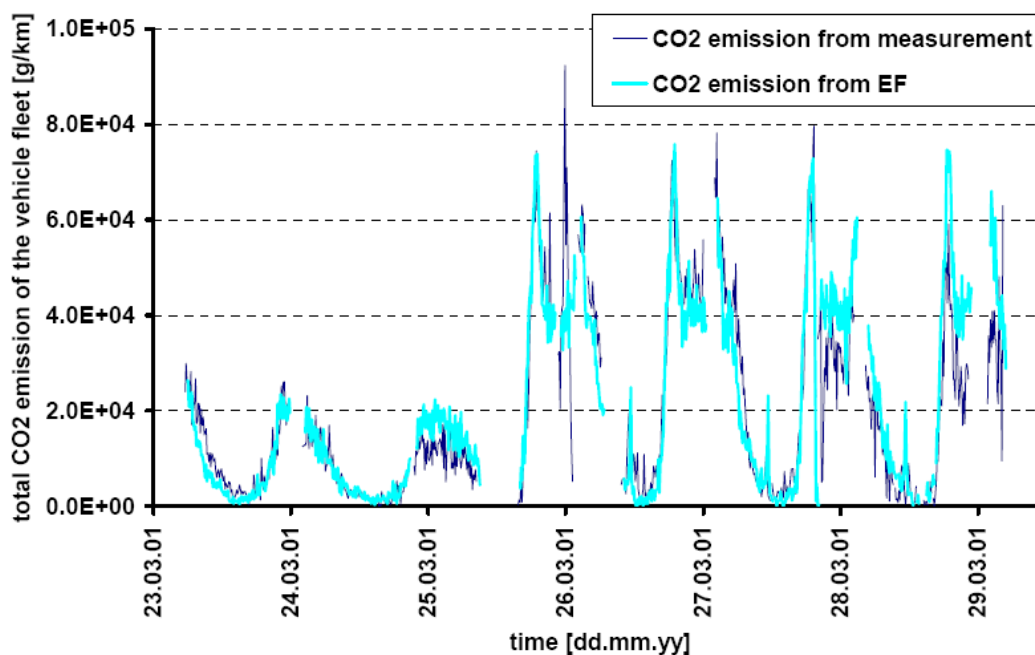
Emissionsfaktorerna för NO_x enligt ARTEMIS-modellen var dock högre än de som erhöles i tunnelmätningarna, både för lätta och tunga fordon, jämför Figur 3.28.



Figur 3.28 Jämförelse av emissionsfaktorer för Nox beräknade från regressionsanalys och beräknade med ARTEMIS.

Med de viktade emissionsfaktorerna från ARTEMIS beräknades även de totala fordons-emissionerna i Lundbytunneln. Eftersom ARTEMIS-modellen i den version som användes vid verifieringen inte tillhandahöll emissionsfaktorer för personbilar vid annat än 0 % lutning gick det inte att ta hänsyn till lutningen genom att bara använda ARTEMIS-modellen. Detta löstes genom att hämta lutningsfaktorer från HBEFA, vilka multiplicerades med emissionsfaktorerna från ARTEMIS-modellen. De beräknade emissionerna jämfördes sedan med de uppmätta. Den

viktigaste ”kvalitetsbedömningen” av modellen gjordes genom att jämföra beräknade och uppmätta CO₂-emissioner. Bränsleförbrukning och följaktligen CO₂-emissionen är de parametrar som utifrån fordonssammansättningen och körmönster kan bestämmas med högst noggrannhet. En regressionsanalys med avseende på beräknade och uppmätta CO₂ emissioner visade på en god överensstämmelse, med $r^2=0.77$ och en regressionskoefficient (k) på 0.99, se Figur 3.29.

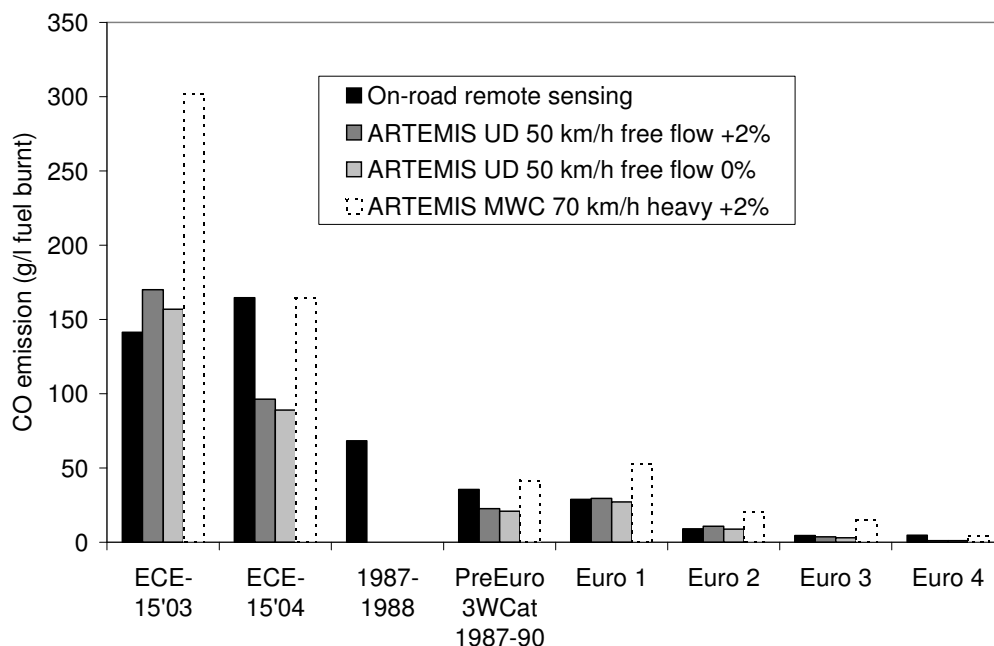


Figur 3.29 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade CO₂ emissioner i Lundbytunneln.

3.7.2 FEAT-mätningar 2001-2002

År 2001 och 2002 utfördes en stor mätkampanj med ett FEAT- instrument i Göteborg (Sjodin *et al.* 2006). Mätningarna innefattade emissioner av avgaskomponenterna CO, HC och NO uttryckta i gram per liter förbrukat bränsle samt fordonens hastighet och acceleration. Genom videofotografering av registreringsskyltarna kunde parametrar som fordonsålder, bränsletyp och kravnivå identifieras för varje enskilt fordon. Mätningarna omfattade ca 18,000 bensindrivna personbilar, ca 1,000 dieseldrivna personbilar och ca 600 tunga fordon. De två mätplatserna som användes klassades enligt ARTEMIS trafiksituationsschema som "Urban Distributor 50 km/h" med en lutning på +2 %.

För bensindrivna personbilar visade resultaten generellt god överensstämmelse mellan modellen och mätningarna för alla tre komponenterna. För NO_x från tunga fordon överensstämde mätningarna också väl med modellen, med undantag av att det i mätningarna inte gick att se någon signifikant skillnad mellan utsläppen från Euro 1-, Euro 2- och Euro 3-fordon som modellen påvisar. I Figur 3.30 jämförs CO-emissioner enligt FEAT respektive enligt ARTEMIS-modellen.



Figur 3.30 CO varmemissionsfaktorer (uttryckta som gram CO per liter förbrukat bränsle) för bensindrivna personbilar enligt FEAT-mätningar 2001-2002 respektive enligt ARTEMIS-modellen (UD = Urban Distributor, MWC = Motorway City, 50/70 km/h = skyltad hastighet, free flow/heavy = trafikflöde, %-siffror väglutning).

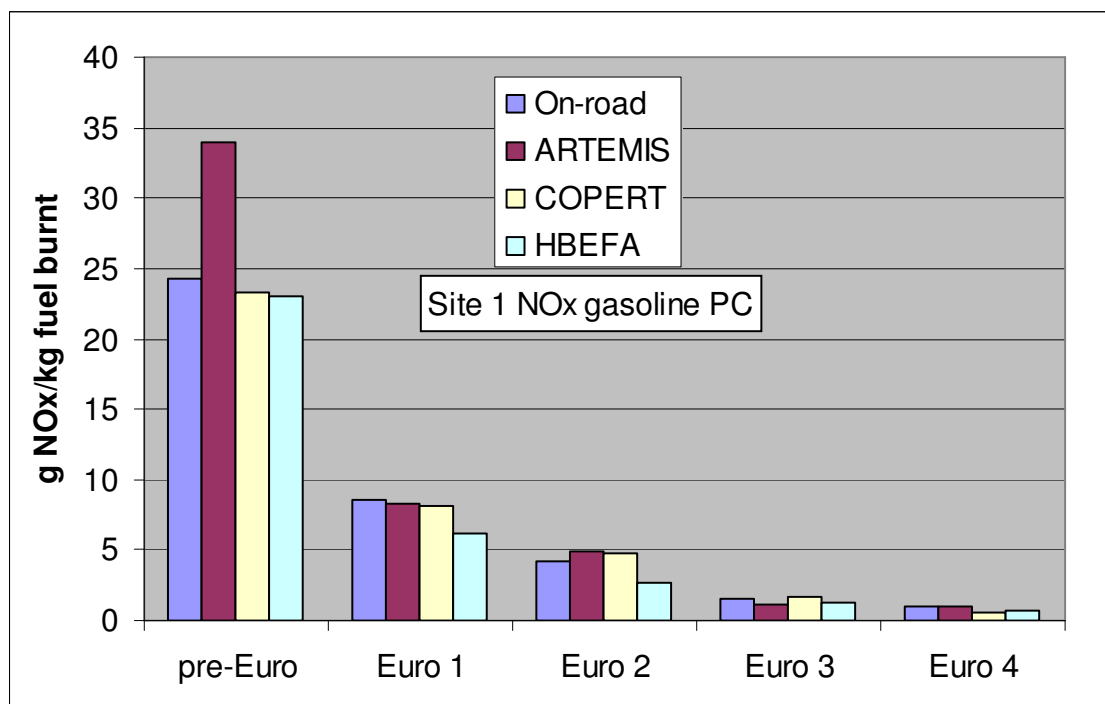
3.7.3 FEAT-mätningar 2007

Inom ramen för projektets fas 2 utfördes FEAT-mätningar på tre olika platser i Göteborg sommaren 2007. I mätningarna användes den senaste generationen FEAT-instrument från universitetet i Denver som är kapabelt att mäta CO, HC, NO, NO₂, NH₃ och SO₂, samt fordonens hastighet och acceleration. Totalt omfattade mätningarna mer än 15,000 fordon som genom videofotografering av registreringsskyltarna kunde bestämmas till ålder, bränsletyp och kravnivå. De tre mätplatserna som användes klassades från ARTEMIS trafiksituationsschema enligt Tabell 3.4.

I Figur 3.31 jämförs emissionsfaktorer enligt FEAT med de tre europeiska emissionsmodellerna ARTEMIS, COPERT och HBEFA för NO_x från bensindrivna personbilar. ARTEMIS-modellen visar relativt god överensstämmelse med FEAT-mätningarna för Euro 1- till och med Euro 4-fordon. För pre-Euro-fordon (bilar utan katalysator) ger ARTEMIS-modellen betydligt högre emissioner jämfört med både FEAT-mätningarna och de andra modellerna.

Tabell 3.4 Klassning av de tre mätplatserna enligt ARTEMIS.

	Använd ARTEMIS trafiksituation
Plats 1	Urban/Access road/40 kmh ⁻¹ /Freeflow
Plats 2	Urban/Distributor/50 kmh ⁻¹ /Freeflow
Plats 3	Urban/MW-City/70 kmh ⁻¹ /Freeflow



Figur 3.31 NO_x emissioner från personbilar uttryckta i g/kg förbränt bränsle. Jämförelse mellan mätningar med FEAT och tre europeiska emissionsmodeller.

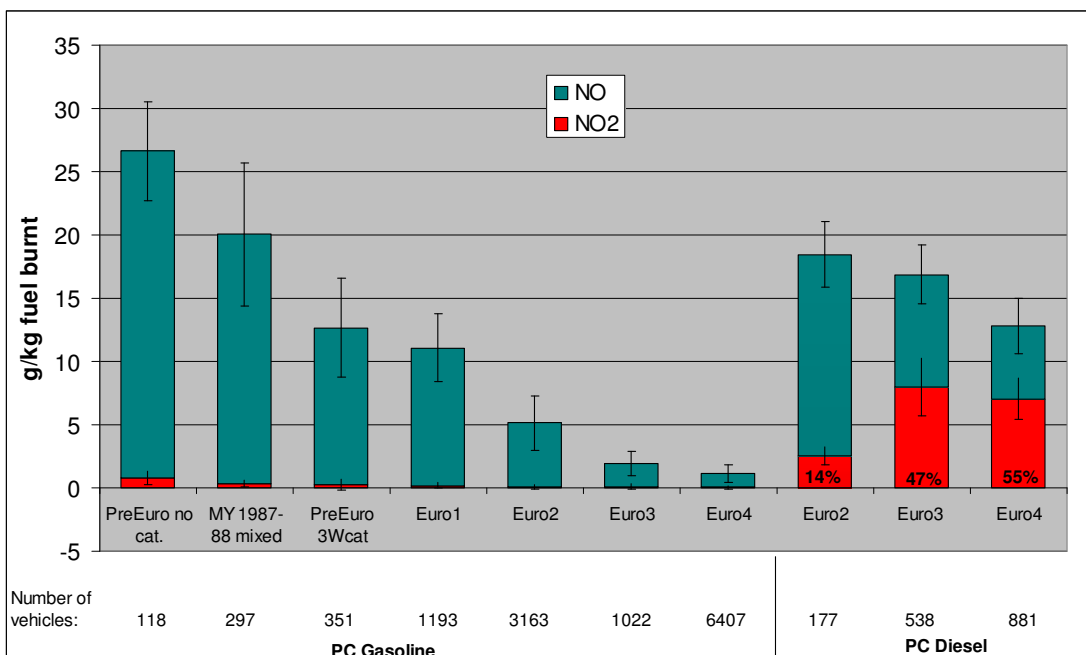
Då det användas FEAT-instrumentet mäter både NO och NO₂ gavs möjligheten att studera NO₂-andelen av de totala NO_x-emissionerna, som funktion av t. ex. kravnivå, se Figur 3.32. Antalet bensindrivna personbilar äldre än Euro 1 samt dieslbilar äldre än Euro 2 som mättes med FEAT-instrumentet var få, och därför måste resultaten för dessa kategorier anses osäkra.

För bensindrivna personbilar har NO_x-utsläppen (varmutsläpp) minskat med ca. 96 % från pre-Euro till Euro 4 enligt FEAT-mätningarna. NO₂-andelen är låg, ca. 2-5 %, oberoende av kravnivå.

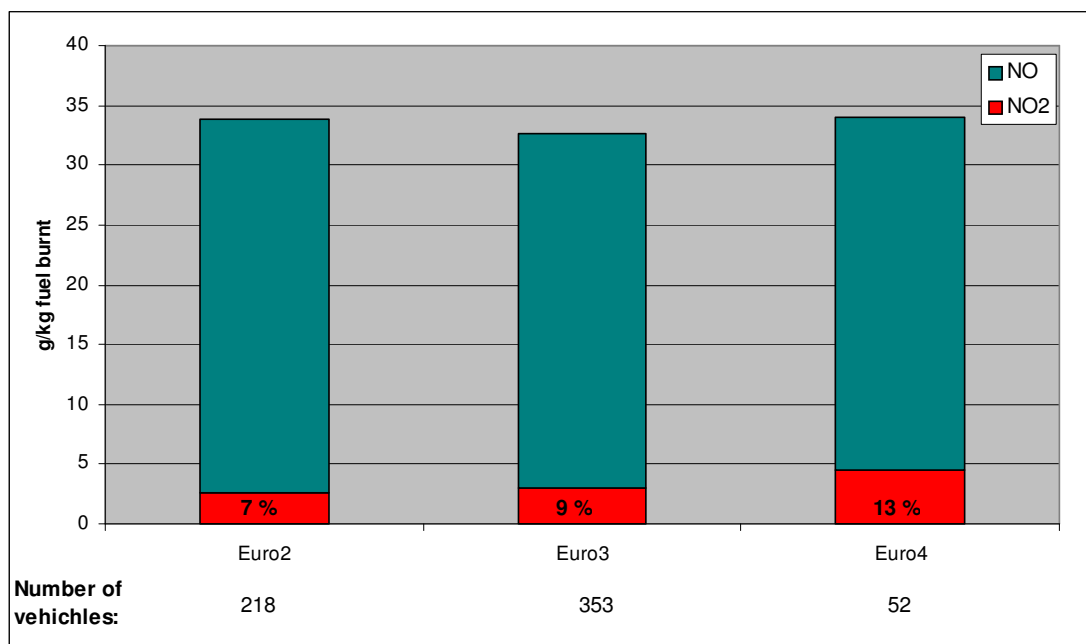
För dieseldrivna personbilar har utsläppen av NO_x reducerats med ca. 30 % från Euro 2 till Euro 4, samtidigt som NO₂-andelen ökat från ca. 14 % (Euro 2) till drygt 50 % (Euro 4).

För NO_x från tunga lastbilar observeras en ökning av NO₂-andelen mellan Euro 2 och Euro 4, från 7% till 13%. Det går däremot i FEAT-mätningarna inte att se någon signifikant skillnad på de totala NO_x-utsläppen mellan Euro 2, 3 och 4 (Figur 3.33), dvs en liknande observation som gjordes i mätningarna 2001-2002. En emissionsminskning hade förväntats framför allt för Euro 4, då Euro 4-kraven innebär en 30% lägre nivå på NO_x jämfört med Euro 3. Orsaken till att denna minskning inte observeras i FEAT-mätningarna kan vara en eller en kombination av följande orsaker:

- Euro 4-fordonen var för få i FEAT-mätningarna för att erhålla ett representativt medelvärde.
- Körförhållandena vid de aktuella mätplatserna är "ogynnsamma" ur NO_x-reduktionssynpunkt.
- En betydande del av de mätta Euro 4-fordonen kan ha varit "retrofitted" Euro 2- och/eller Euro 3-fordon.

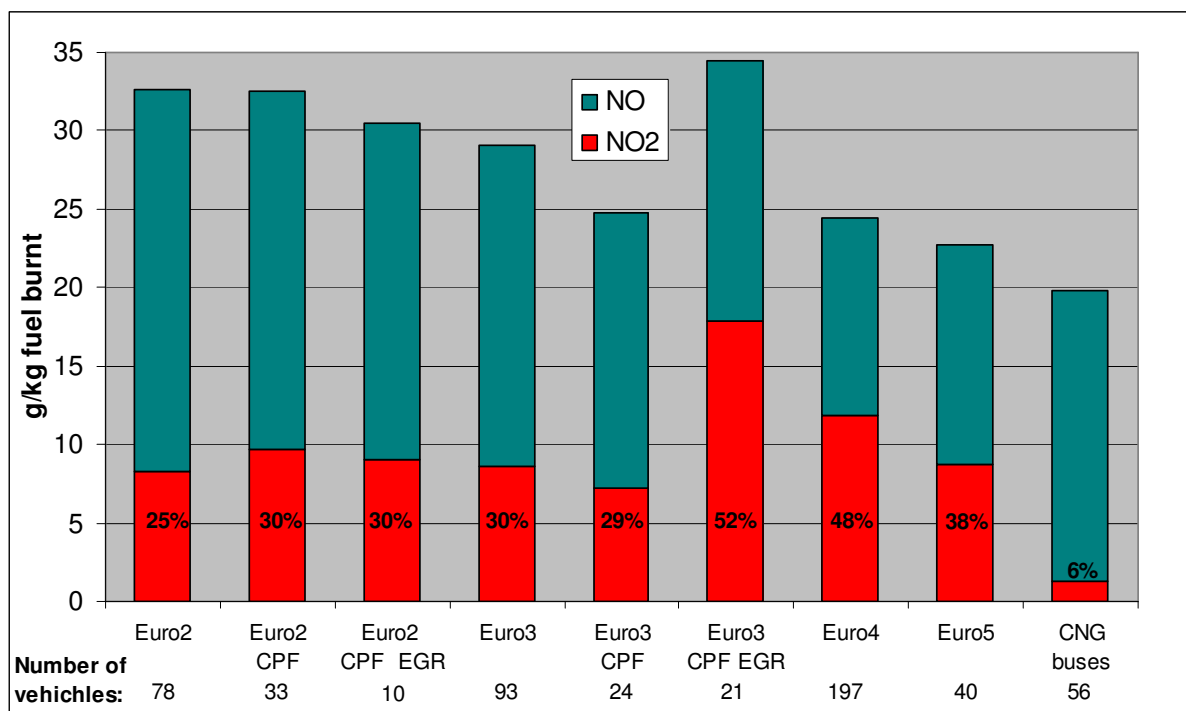


Figur 3.32 Medelvärden av NO_x-, NO- och NO₂-emissioner i g/kg förbrukat bränsle per Euroklass av bensin- och dieselpersonbilar enligt FEAT-mätningar i Göteborg 2007.



Figur 3.33 Medelvärde av NO_x-, NO- och NO₂-emissioner i g/kg förbrukat bränsle per Euroklass av tunga lastbilar enligt FEAT-mätningar i Göteborg 2007.

I Figur 3.34 redovisas utsläpp av NO och NO₂ från bussar enligt FEAT-mätningarna. Inga bussar äldre än motsvarande Euro 2 återfanns i mätningarna, å andra sidan förekom ett förhållandevis stort antal bussar som uppfyllde Euro 5-kraven, liksom ett motsvarande antal gasbussar. För Euro 2- och Euro 3-bussarna förelåg en blandning av konventionella bussar utan avgasrening, bussar med katalysator och partikelfilter (CPF) samt bussar med katalysator och partikelfilter dessutom försedda med EGR. Av Figur 3.34 framgår en generell nedåtgående trend i NO_x-emission med stigande kravnivå, resulterande i en 30% lägre nivå för Euro 5 jämfört med Euro 2. Lägst utsläpp noteras för gasbussarna. Med undantag för gasbussarna var andelen NO₂ av NO_x generellt hög (>25%). De högsta NO₂-andelarna, omkring 50%, uppvisade Euro 3:or med partikelfilter och EGR samt Euro 4:or.

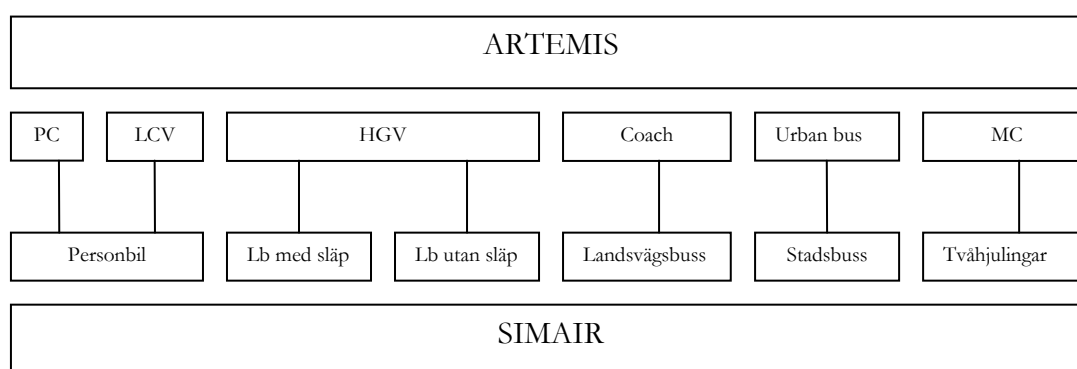


Figur 3.34 Medelvärde av NO_x-, NO- och NO₂-emissioner i g/kg förbrukat bränsle per Euroklass av bussar enligt FEAT-mätningar i Göteborg 2007. CPF = Catalysed Particulate Filter, EGR = Exhaust Gas Recirculation, CNG = Compressed Natural Gas.

3.8 Implementering i SIMAIR

Som en del av projektets fas 1 implementerades luftkvalitetsmodellen SIMAIR (SMHI, 2005; SIMAIR, 2008) med emissionsfaktorer från ARTEMIS version 0.3b. Modellen var då uppdaterad med svensk statistik till och med 2004.

I vissa fall kunde data tas direkt från ARTEMIS och utan vidare behandling implementeras i SIMAIR. Men eftersom SIMAIR har en annan uppdelning av fordonskategorier än ARTEMIS gick inte detta i samtliga fall. Tunga lastbilar delas i SIMAIR upp på kategorierna lastbil med släp och lastbil utan släp. I ARTEMIS är dessa kategorier sammanslagna till kategorin HGV. SIMAIR kategorin personbilar definieras som alla bilar med en totalvikt under 3.5 ton. Detta innebar att kategorierna PC och LCV i ARTEMIS fick slås ihop. Se Figur 3.35.



Figur 3.35 Fordonskategorier i ARTEMIS och SIMAIR.

Bränsleförbrukningsfaktorer samt emissionsfaktorer för utsläppsämnen HC, CO, NO_x, PM (total massa avgaspartiklar - finns i ARTEMIS för närvarande endast för dieselfordon), CO₂, CH₄, NMHC, SO₂ och N₂O extraherades från ARTEMIS. Utöver dessa parametrar behöver SIMAIR indata för PM (bensinfordon), NO₂ och bensen. Eftersom dessa data saknas i ARTEMIS användes EMV för att ta fram emissionsfaktorer för PM (bensinfordon). Bensen beräknades som andelar av emissionsfaktorer för totala kolväten enligt HBEFA 2.1 och NO₂ beräknades som andelar av emissionsfaktorer för NO_x baserat på data från litteraturen.

Emissionsfaktorer och bränsleförbrukning extraherades ur ARTEMIS för alla vägtyper som finns representerade i Sverige. För varje vägtyp användes alla fyra nivåer av trafikförhållanden ("free flow", "heavy", "saturated" och "stop & go").

För alla fordonskategorier utom HGV togs emissionsfaktorer fram på nivån "per veh-category and technology/fuel type". För HGV krävdes en upplösning "per veh-category and subsegment" för att sedan kunna göra uppdelningen på lastbil med/utan släp.

3.9 Deltagande i europeiskt samarbete

3.9.1 DACH-NL-S

Förutom ett direkt deltagande i slutfasen av de vägtrafikrelaterade delarna inom ARTEMIS-projektet, i synnerhet WP 1100 "ARTEMIS Road Emission Model", så har projektet även från och med 2005 varit representerat med minst en person - utöver den nationella representanten från Vägverket - i samarbetsgruppen DACH-NL-S. Denna grupp har existerat sedan mitten av 1980-talet och bestod från början av Tyskland, Österrike och Schweiz för arbetet med att främst utveckla HBEFA. Under början av 2000-talet tillkom Holland följt av Sverige, och under senare år har även Spanien, Norge och Frankrike anslutit sig till gruppen. Vid det senaste DACH-NL-S-mötet i oktober 2008 medverkade för första gången även en representant från DG JRC (Ispra). Vid mötet framförde JRC ett intresse för att delta i det fortsatta arbetet inom DACH-NL-S (eller vad gruppen kommer att heta framgent). Vidare erbjöd JRC att koordinera arbetet inom gruppen med likartade aktiviteter relaterade till COPERT-modellen. JRC kommer även att verka för möjligheter att delvis finansiera aktiviteter inom området direkt från berörda EU-direktorat.

De bägge europeiska emissionsmodeller för vägtrafik som förvaltas av DACH-NL-S - ARTEMIS respektive HBEFA - står för närvarande inför en uppdatering, och kommer att lanseras i nya versioner under 2009. Bland annat skall för första gången de bägge modellerna uppdateras med mätdata avseende fordon som svarar mot kravnivåerna Euro 4 och Euro 5.

Genom kompletterande finansiering från Vägverket bidrar samtliga parter involverade i EMFO-projektet till det pågående arbetet med uppdateringen av ARTEMIS och HBEFA. Det svenska bidraget omfattar följande insatser:

- *Bidrag till uppdatering av emissionsfaktorer till ARTEMIS/HBEFA*
 - Innehav av samordningsroll för en ny alternativbränslegrupp inom DACH-NL-S. De bränslen som är mest aktuella är E5, E10, E85, B5, B10, biogas, naturgas, LPG. Arbetet innebär att samla in data, göra jämförelser och föreslå korrektionsfaktorer för emissionsfaktorer, samt att koordinera information om plug-in hybrider → full hybrider.
 - Arbete och deltagande i möten med DACH-NL-S emissionsfaktorgrupp.
 - Anpassning av fordonsprovingsdata från uppdrag för Vägverket till HBEFA/ARTEMIS.
- *Bidrag till uppdatering av trafiksituationer till ARTEMIS/HBEFA*
 - Utredning rörande eventuella skillnader mellan "samma" trafiksituationer i huvudkategorierna Urban respektive Rural i ARTEMIS.
 - Tillhandahållande av rangkurvor för trafikflödesklass.
 - Framtagning av svenska körmonsterdata för att fylla nuvarande luckor i ARTEMIS.
 - Arbete och deltagande i möten med DACH-NL-S körmonstergroup.
- *Förbättrade fordonsparametrar och körmotstånd för tunga fordon 40-60 ton*
 - Bidrag till uppdatering av fordonsparametrar i HBEFA/ARTEMIS
 - Förbättrade data på körmotstånd baserat på "coast-down"-mätningar

- Validering av nya versionen av HBEFA/ARTEMIS mot on-road data

On-road data avser främst FEAT-data insamlade i mätkampanjen i Göteborg 2007. Valideringen avser främst Euro 4- och Euro 5-fordon samt personbilar generellt, eftersom en ny emissionsfaktormodell för personbilar ska tas fram till de nya versionerna av såväl ARTEMIS som HBEFA.

3.9.1 EU:s PEMS Pilot Program

AVL MTC har på uppdrag av Vägverket under perioden 2006-2008 utfört hållbarhetsprovning av tunga fordon, dels på chassidynamometer, dels genom mätning av emissioner med mätutrustning placerad ombord på fordonet med PEMS. Provning på väg/ombordmätning har dels utförts när fordonen används i sin normala användning, dels på speciellt utvalda körsträckor. Projektet har genomförts som ett nationellt projekt, men nära knutet till det europeiska PEMS (Portable Emission Measurement System) Pilot Program. Detta program koordineras av DG JRC (Joint Research Center) och målsättningen är att utveckla ett europeiskt system för att kontrollera huruvida tunga fordon i bruk uppfyller fastställda emissionskrav. I projektet deltar fordons- och motortillverkare, tillverkare av mätutrustning, intresserade myndigheter och ”tekniska tjänster” i Europa. Berörda intressenter möts regelbundet för att diskutera mätmetoder och provresultat. Under år 2008 har fem möten hållits i Bryssel. Diskussionerna har resulterat i att ett ”PEMS-protokoll” har utvecklats som i princip har accepterats av såväl myndigheter som fordonsindustrin och övriga berörda aktörer. Vissa smärre detaljer återstår dock att lösa innan texter kan införas i EU direktiv eller i Annex till direktiv. Målsättningen är att detta protokoll ska användas för provning av tunga fordon som uppfyller emissionskraven för Euro 5 och Euro 6 samt vid beräkning av resultat.

Prov på sex tunga fordon som utförts vid AVL MTC under år 2008 kommer att ingå i den databas som etableras av DG JRC. För närvarande finns ca 30 resultat från fordon som uppfyller emissionskraven i Euro 4, 5 och 6.

Provmetoden som har utvecklats för att undersöka om fordon i bruk uppfyller fastställda krav kan givetvis användas på ytterligare sätt. När ett fordon provas ”mot bestämmelserna” är målsättningen att efterlikna provsituationer som motorn utsätts för vid normal certifiering eller godkännande. En dator beräknar därför de totala emissionerna inom givna ramar för motorn när fordonet körs på väg i sin normala användning. Om målsättningen med provningen däremot är att utveckla emissionsfaktorer genomförs provningen på samma sätt som tidigare, men beräkning av emissioner görs på sådant sätt att ”alla” motorns olika driftsfall ingår i beräkningen (och inte bara viss utvalda).

Av de provade sex tunga fordonen under 2008 har samtliga resultat beräknats enligt den metoden där ”alla” motorns driftsfall ingår såväl som inom de begränsningar som PEMS-protokollet definierar. Resultaten från de olika beräkningarna avviker ganska mycket. Det är dock viktigt att poängtera att när ett fordon provas enligt bestämmelserna uppfyller motorn de emissionskrav som ställs, men när man studerar emissioner utanför det av bestämmelserna reglerade området kan vissa emissioner öka med en faktor 5-10.

Resultat från provningar och beräkningar enligt det senare alternativet har tillställts Technische Universität Graz (TUG) för att dessa ska ingå i den databas som TUG ansvarar för och som används för såväl HBEFA som ARTEMIS-modellen.

3.10 Övriga resultat

Ett av de mer primära syftena med att implementera ARTEMIS modellen i Sverige är för att använda den som underlag till klimatrapporteringen och Vägverkets årsredovisning och sektorsredovisning. Klimatrapporteringen styrs av förordningen om klimatrapportering. Enligt denna skall Vägverket årligen i juni rapportera utsläppen för vägtrafiken för föregående år. Huvuddelen av beräkningarna görs i januari och februari för att även kunna användas till Vägverkets års- och sektorsredovisning. Första gången ARTEMIS modellen användes för detta var för år 2005. Då användes modellen endast för klimatgaserna koldioxid, metan och lustgas. Året därpå användes ARTEMIS modellen även för övriga ämnen. I samband med beräkningarna har det gjorts en årlig uppdatering av ARTEMIS modellen. Denna har legat utanför projektet och har genomförts av VTI på uppdrag av Vägverket. Uppdateringen har huvudsakligen innefattat uppdatering av aktivitetsdata, såsom fordonbestånd och trafikarbete men även uppgifter om genomsnittlig bränsleförbrukning för nya bilar.

Efterfrågan på emissionsfaktorer och emissionsdata i samhället är förhållandevis stor. Data behövs för olika former av miljöredovisningar, miljökonsekvensbeskrivningar och analyser. Data från ARTEMIS modellen har utanför projektet därför gjorts tillgängliga på flera sätt, vilket beskrivs närmare nedan.

3.10.1 Vägverkets Effektkatalog

Inom Vägverkets objektanalys används uppgifter om avgasutsläpp som funktion av medelhastighet (Vägverket, 2009a). Separata samband finns för olika fordonstyper och olika vägmiljöer. Ur ARTEMIS trafiksituationer har väg- och gatumiljöer valts ut motsvarande de som används i EVA-modellen. Ett problem i sammanhanget är att objektanalysen har en struktur med uppdelning på länkar och korsningar medan ARTEMIS trafiksituationer motsvarar leder inklusive både länkar och korsningar. Därmed kan man inte beskriva effekter av förändringar i exempelvis en korsning.

Effektkatalogen har en annan skärning än vad t ex NTM har. Här är det medelemissionsfaktorer för personbil, lastbil utan släp (inkl buss) samt lastbil med släp som gäller, men till skillnad från NTM är emissionsfaktorerna uppdelade på ett stort antal olika väg-, gatutyper och trafiksituationer (Vägverket, 2009a).

3.10.2 Vägverkets och Naturvårdsverkets "Metodhandbok"

Vägverket och Naturvårdsverket publicerar på internet "Handbok för vägtrafikens luftföroreningar", ofta kallad "Metodhandboken". Denna tillhandahåller bland annat aggregerade emissionsfaktorer för olika fordonstyper, för personbil även uppdelat på olika motortyper uppdelat på landsväg, tätort och medel härledda från ARTEMIS-modellen (Vägverket, 2009b)

3.10.3 Uppdatering av NTM:s metoder

Nätverket för transporter och miljö, NTM, har en finare uppdelning på bl.a. kravnivåer än vad handboken har. Allteftersom NTM uppdateras tas mer och mer från ARTEMIS. NTM:s metoddokument för beräkningar av emissioner och bränsleförbrukning avseende Gods och logistik håller nu på att uppdateras med ARTEMIS-data. Motsvarande metoddokument för Resor (persontransporter) kommer sannolikt att uppdateras efter att nästa version av ARTEMIS-modellen kommer lanserats, dvs 2009-2010 (NTM, 2009).

3.10.4 Beräkningar för trängselavgiftsförsöket i Stockholm

Ett försök med trängselskatt genomfördes i Stockholms innerstad första halvåret 2006. Ett av målen för försöket var att minska avgasutsläppen. För utvärdering av utsläppen från vägtrafiken i Stockholms län användes ARTEMIS. En indelning av länet gjordes i: innerstaden; länet utanför innerstaden och i fem trafikleder. Beräkningar har genomförts för fyra olika tidsintervall under dygnet med och utan trängselskatt. ARTEMIS ger viss frihet ifråga om hur långt man skall driva anpassningen av indata till den speciella tillämpningen. Vad som naturligtvis alltid måste anpassas är trafikarbetet per fordonskategori. De flesta tillämpningar bör också förutsätta att traffic situations anpassas till de lokala förhållandena. Möjligheten att i ARTEMIS variera belastningsgrad per väg- och gatutyp var av speciellt stor betydelse för Stockholmsförsöket. Även beskrivningen av fordonsparken gavs en beskrivning enligt bilregistret för fordonsparken i Stockholms län (Carlsson *et al.*, 2006)

3.10.5 "HEAVY ROUTE"

Inom ett EU projekt, HEAVY ROUTE, pågår utveckling av ett system för optimalt ruttval utifrån olika effekter som: restid, buller, vägnedbrytning, bränsleförbrukning, avgaser m.m. För att beskriva bränsleförbrukning och avgaser har valts att använda emissionsfaktorer hämtade ur ARTEMIS. Ett ruttval skall göras för ett fordon i viss vikt- och kravnivå-klass. Vad som beaktas för länkarna i nätet mellan start och målpunkt är bl.a: vägbredd, hastighetsgräns och lutning. För olika utvalda rutter har fordonsmätningar genomförts med registrering av både restid och bränsleförbrukning.

3.10.6 Långa fordon

Inom ett regeringsuppdrag har VTI utvärderat de samhällsekonomiska effekterna av att minska den maximala fordonsstorleken från dagens 25,25 m och 60 ton till 18,75 m och 40 ton (Vierth, 2008). För att utvärdera effekter i form av bränsle och avgaser användes ARTEMIS emissionsfaktorer.

4 Framtida förvaltning

Vägtrafikens utsläpp är under ständig förändring. Utsläpp av kväveoxider och kolväten minskar i storleksordningen 5-10 procent per år. Den årliga förändringen av koldioxidutsläppen har inte samma tydliga trend och är ofta bara någon procent och ibland bara delar av procent. Det är inte heller alltid det handlar om en minskning. Fokus på koldioxidutsläppen är mycket större än för övriga ämnen och det ställs också högre krav på noggrannhet. Lyckligtvis är precisionen i beräkningarna också högre. Orsakerna till förändringarna av utsläppen är flera. Grundläggande är att trafikarbetet förändras. Ofta är den årliga förändringen inom några procent. Nedbrutet på olika fordonstyper kan förändringarna vara större. Utöver trafikarbetets förändring uppdelat på olika fordonstyper sker även en förändring i fördelningen på olika trafiksituationer. Eftersom emissionerna är starkt beroende av trafiksituationen är det av stor vikt att ha koll även på dessa förändringar. Ett aktuellt exempel är det nya hastighetsystemet som nu håller på att införas. Utsläppsegenskaperna för olika fordons- och motortyper samt underliggande kravnivåer kan variera mycket. Årligen skrotas gamla fordon ut och nya tillkommer. Fordonsparken och dess emissionsegenskaper är därför under ständig förändring. För nya fordon behövs också kunskap om hur emissionsegenskaper ser ut. Utöver fordonen i sig har också bränslesammansättning betydelse. Bilden blir ytterligare komplicerad genom att en del fordon (flexfuel och bifuel) kan använda flera olika typer av bränslen. Andelen av dessa bränslen kan variera snabbt mellan ett år och ett annat beroende på vilket bränsle som är ekonomiskt mest fördelaktigt att köra på.

För att kunna redovisa dynamiken i utsläppen krävs att modellen uppdateras årligen. Det sker redan idag en årlig förvaltning av modellen. Denna innefattar uppdatering av:

- trafikarbete, underlag är SIKAs trafikarbetsmodell,
- fordonsflotta, m.a.p fördelning fordonstyper, ålder, kravnivåer, drivmedel etc. Detta görs genom en bearbetning av en kopia av vägtrafikregistret som Vägverket tillhandahåller,
- nya personbilars bränsleförbrukning.

Uppdateringen har gjorts av VTI på uppdrag av Vägverket. Det är i nuvarande modell inte möjligt att ta hänsyn till att flexifuel och bifuel bilar körs på mer än ett bränsle. Utanför modellen gör därför Vägverket en fördelning på olika drivmedel för dessa motortyper utifrån underlag från SCB.

VTI har även vid några tillfällen gjort ytterligare uppdateringar av data. Detta har inte gjorts årligen och har rört data som antingen inte har bedömts förändras lika snabbt eller där det inte funnits tillgång till nya data årligen. Exempel på sådant är uppdatering av släpandelar och lastfaktorer för lastbil, översyn av trafikarbetsmodell samt uppdatering av skrotningsandelar.

Vad gäller emissionssamband framförallt för nya fordon och kravnivåer så har detta inte uppdaterats i ARTEMIS-modellen. Inom DACH-NL-S har det under 2008 satts igång ett arbete att uppdatera såväl ARTEMIS som HBEFA. Detta kommer även innefatta framtagning av emissionssamband för fordon och kravnivåer som tidigare inte har behandlats eller bara behandlats schablonmässigt i modellen.

En framtida förvaltning av modellen kan delas in i:

- Årlig förvaltning
 - I samband med Vägverkets årsredovisning göra en uppdatering av aktivitetsdata såsom trafik, fordonsflotta m.m. i ARTEMIS. Detta görs årligen.
- Specialuppdatering av aktivitetsdata
 - Med något års mellanrum behövs det även göras uppdateringar av data som inte förändras lika mycket mellan åren.
- Uppdatering av emissionssamband
 - Med ett intervall på 3-5 år behövs hela ARTEMIS uppdateras med nya emissionssamband. Detta för att beskriva nya kravnivåer och nyare fordon. I vissa fall också för att beskriva äldre fordon med utgångspunkt från ny kunskap. Detta görs inom DACH-NL-S och samordnas med uppdateringen av HBEFA troligen även COPERT. Svenska insatser består av forskningsinsatser, finansiellt stöd samt bidrag med data. Data kommer bl.a. från Hållbarhetsprogrammet som genomförs på uppdrag av Transportstyrelsen.

För den årliga uppdatering finns redan idag rutiner som fungerar bra. Uppdateringen dokumenteras i ett PM av VTI. Tillgång till trafikregistret måste säkras i och med att detta flyttas över från Vägverket till Transportstyrelsen.

Vad gäller specialuppdateringarna av aktivitetsdata bör dessa vara behovsstyrda. Nya behov kan uppstå som vi idag inte känner till. Vi kan dock redan nu peka på följande behov av uppdateringar,

- trafiksituationer utifrån det nya hastighetssystemet som införs i Sverige 2008-2009.
- trafiksituationerna i ARTEMIS mer generellt. Dels finns nu ett bättre underlag för fördelning av trafiken på olika trafiksituationer i och med den kartläggning som gjordes för SIMAIR, dels finns ett behov av en verifiering av ARTEMIS-klassningen utifrån svenska förhållanden.
- släpandelar och lastfaktorer, från lastbilsundersökningen,
- skrotningssannolikheter,
- körsträckor från SCB:s körsträckedatabas.

Det finns även ett behov av oberoende nationell uppföljning analys av bränslen. Det görs idag en uppföljning av Svenska Petroleuminstitutet. Denna bör kunna utgöra en bas som sedan kompletteras med en oberoende uppföljning. Denna uppföljning bör kunna finansieras på samma sätt som hållbarhetsprovningen genom kontrollavgiften för bilars avgasrening och bränslen.

Uppdatering av emissionssambanden bör göras inom DACH-NL-S-samarbetet eftersom data till största delen är gemensamma för alla länder. Sverige har en lång tradition av forskning inom emissionsområdet och har därigenom skapat sig en kompetens som inom flera delområden är ledande inom Europa. Detta bör lyftas fram inom samarbetet genom att Sverige tar på sig samordnings- och expertroller för områden där vi kan tillföra viktig kunskap. I den pågående uppdateringen av ARTEMIS och HBEFA har Sverige redan tagit på sig en samordningsroll för alternativa drivmedel och nya teknologier. Andra områden där Sveriges kompetens är ledande eller det finns andra behov av att ta en roll är:

- kallstarter,
- avdunstning,

- samband mellan bränslekvalitet och emissioner,
- validering/verifiering mot on-board (PEMS) och on-road (FEAT, tunnel m.m.),
- tunga fordon över 40 ton,
- icke-avgaspartiklar,
- påverkan på körmönster av yttre faktorer, typ av fordon, interaktion förare-fordon (data och kunskap),
- metodik för kartläggning och inventering av trafiksituationer med ARTEMIS-klassning inklusive metod för uppdelning på tätort och landsbygd.

Utöver att bidra med kompetens är det viktigt att de emissionsdata som tas fram vid mätningar på fordon i Sverige och andra länder görs tillgängliga för uppdatering av modellerna. Vid upplägg av mätningar är det viktigt att redan från början tänka på att data skall kunna användas vid framtida uppdateringar av modeller. Data som anpassas på detta sätt får i stort sett obegränsad livslängd och kan användas i statistikframställning och analyser under mycket lång tid. Inom DACH-NL-S finns samordnare utsedda för olika typer av data och fordonstyper. Det kan dock finnas behov av en nationell samordnare för emissionsdata, särskilt mellan uppdateringstillfällena.

En stor och därmed viktig del av svenska data kommer ifrån det nationella Hållbarhetsprogrammet. Ansvaret för detta har fram till och med 2008 legat på Vägverket. Från 2009 går ansvaret över till den nybildade myndigheten Transportstyrelsen. Det är viktigt att säkerställa att data från detta program även fortsättningsvis kan användas för uppdatering av emissionsmodeller.

Emissioner är en färskvara, vilket innebär att i takt med introduktion av ny motorteknik, nya koncept för drivlinor och nya alternativa bränslen introduceras kommer äldre emissionsfaktorer inte längre att vara aktuella. Då dessutom de flesta emissionsfaktorer är resultat från provning av nya fordon bör även emissionsfaktorer utvecklas som representerar fordon som är ett par år gamla och som används i ”normal operation”.

Signaler från marknaden bör kanaliseras och i de fall där man kan förvänta sig en påverkan av emissionsbildning bör resurser skapas för att verifiera detta. Som exempel på detta kan nämnas introduktion av biobränslen, ny motorteknik, hybridkoncept etc.

Erfarenheter från den svenska marknaden eller fordonsflottan bör överföras till andra länder med liknande förutsättningar för att därigenom sprida kunskap. Detta kan bland annat göras genom att presentera resultat och erfarenheter vid internationella konferenser och seminarier. Erfarenheter har visat att mycket information från Sverige får stor uppmärksamhet utanför landet. Svenskt deltagande i dessa seminarier bör planeras och koordineras nationellt.

Provning av fordon för att utveckla emissionsfaktorer är kostsamt och resurskrävande. Internationell samordning bör därför eftersträvas då sådan är möjlig. Ett antal länder i Europa har infört olika nationella program för hållbarhetsprovning av lätta och tunga fordon. På svenskt initiativ har en grupp (EURISEC) bildats med målsättning att försöka samordna sådana aktiviteter. Med två planerade möten per år försöker gruppen att koordinera arbetet med hållbarhetskontroller genom att utväxla information om vilka bilar/motorer som ska provas under året. Denna koordination sparar både tid och pengar. Vid möten diskuteras även resultat och erfarenheter för att därigenom utnyttja tillgängliga (prov)resurser på bästa sätt och undvika att samma motorer provas i flera länder ungefär samtidigt. Resultaten från dessa hållbarhetsprovningar förs in i olika databaser för att därigenom öka antalet provade fordon. I en nyligen avslutad upphandling har AVL MTC fått Vägverkets uppdrag att svara för hållbarhetsprovning av lätta såväl som tunga fordon under åren 2009 – 2010, med option på ytterligare ett år. Detta innebär att mängden material från provningar i Sverige och som kan presenteras internationellt kommer att öka.

5 FoU-behov - förslag till fortsatt forskning

5.1 Emissionsfaktorer, emissions samband

Emissionsfaktorer utvecklas i regel baserat på prov av fordon på en chassidynamometer (rullande landsväg). Chassidynamometern kan ställas in för att representera olika driftsförhållanden som fordonets vikt inklusive last och körning i uppförslut eller nedförslut. Körningen på chassidynamometern kan därutöver anpassas till att representera olika typer av körning som stadskörning, landsvägskörning etc. I viss mån kan dessutom yttertemperaturen, representerande vinter- och sommarförhållanden, varieras inom vissa gränser, speciellt när det gäller vid provning av lätta fordon. För lätta fordon är provning inget större problem då utrustning finns relativt lätt tillgänglig.

För tunga fordon är situationen helt annorlunda. När en motor godkänns/certifieras enligt bestämmelserna, provas motorn som en separat enhet i en motorprovcell. Tillverkaren av motorn kan efter godkänt resultat montera motorn i ett stort antal helt skilda applikationer (lastbil för lokal distribution av varor, långtradare och buss) med stöd av det utfärdade godkännandet. Det är givet att olika applikationer/användning av fordon/motor resulterar i stora variationer av emissioner när fordonen körs i verklig trafik.

Tillgången på chassidynamometer med möjlighet att prova kompletta tunga fordon är mycket begränsad och för tillfället finns endast fyra sådana i Europa utanför bilindustrin. Under 2009 är det dock planerat att två till kommer att invigas. Kostnaden för att prova tunga fordon på chassidynamometer är betydligt högre än för lätta fordon, och det är därför inte realistiskt att introducera samma provomfattning för tunga fordon som för lätta. Nya mätmetoder behöver därför etableras varav ombordmätning är ett alternativ.

Sedan år 2000 har AVL MTC genomfört ett antal olika projekt för att validera och jämföra ombordmätning med konventionell mätning av avgasutsläpp. Slutsatsen är att resultat som bygger på ombordmätning med state-of-the-art utrustning väl fyller de krav på kvalitet och tillförlitlighet som kan ställas. Motsvarande slutsatser har dragits inom EU av JRC och i USA av såväl EPA som CARB.

Den teknik som idag används för att reducera emissioner från fordon är utvecklad för att klara de krav som ställs i form av emissionsgränser. Vad som händer med ett fordon/motor som provas utanför de väl specificerade kriterier som bestämmelserna omfattar är dock inte fullt klarlagda och mer resurser behöver skapas för att få svar på alla frågor. Som tidigare nämnts provas motorer som ska användas i tunga fordon som en separat enhet i en motorprovcell. I regel måste dessutom någon form av efterbehandling av avgaserna introduceras för att klara fastställda lagkrav. Dessa utrustningar fungerar väl under själva certifieringsprovningen, men när avgasflöden, avgastemperaturer och omgivningstemperaturer ligger utanför de som utrustningen designats för (dvs. normal drift) kan funktionen starkt ifrågasättas.

EU har fastställt gemensamma mål för framtida reduktion av CO₂. Dessutom har beslut fattats om användandet av förnyelsebara bränslen inom transportsektorn. Detta innebär att specifikationer för både handelsbränsle och provbränsle kommer att ändras i och med att mer biogent material kommer att blandas med det fossila bränslet och i vissa fall helt ersätta det fossila bränslet. Hur livslängden (som dessutom har utökats) på komponenter ingående i det avgasrenande systemet kommer att påverkas av detta är inte helt klarlagt, utan resurser måste skapas för att verifiera eventuell påverkan.

Sammanfattningsvis kan följande områden nämnas som intressanta för fortsatt forskning och som resultat kan innebära eventuell modifiering/justering av emissionsfaktorer:

- Utveckling av ombordmätsystem (gasformiga föroreningar) för emissionsfaktorer och för mätning/analys av partiklar för lätta och tunga fordon.
- Hur påverkar olika typer av alternativa bränslen hållbarheten på det avgasrenande systemet?
- Hur förändras avdunstningsegenskaper vid alternativa bränslen och hur påverkas material i bränslesystem av främst alkoholblandningar (E85)?
- Hur påverkas avgasemissionerna beroende på avgastemperaturens inverkan på det avgasrenande systemet (SCR).
- Hur inverkar framtida emissionskoncept/nya drivlinor framtida scenario för luftkvalitet? När nya motorkoncept introduceras på marknaden bör särskilda resurser skapas för att verifiera emissioner både under reglerade och oreglerade körsituationer
- Undersökningar för att verifiera hur emissionsfaktorer påverkas när olika hastighetsgränser införs.

5.2 Körmönsterbeskrivningar

Klassningen av trafiksystemet i trafiksituationer är en central del i ARTEMIS. Modellen har stora fördelar jämfört med tidigare sk medelhastighetsmodeller, eftersom man kan få in flera olika yttre variabler som bestämmer körmönstret på en viss väg och därmed emissionsfaktorerna. Det är emellertid viktigt att klassningen blir tillräckligt representativ. Ett pågående examensarbete vid LTH har visat att nuvarande version av ARTEMIS-modellen (0.4d) har betydande inkonsistens vad gäller de körcykler som är kopplade till olika trafiksituationer. Det förekommer teoretiskt svårklarade skillnader i parametrar som medelhastighet, andel stopp tid och RPA (relativ positiv acceleration). Ett exempel är att flödesklass ”Stop & Go” kan ha högre hastighet än mättat och stort flöde. Erfarenheterna förs vidare till DACH-NL-S gruppen som nu arbetar med en ny version av modellen. Ytterligare datainsamling alternativt djupare analys av befintliga data och validering av klassningen på trafiksituationer för olika fordonskategorier är nödvändiga för att uppnå en tillräckligt konsistent modell i detta avseende.

5.3 Fordonsbeskrivningar, övriga aktivitetsdata

ARTEMIS ställer krav på omfattande indata. Dessa indata baseras i sin tur på mycket omfattande dataunderlag. Detta medför förhållandevis höga kostnader för att använda ARTEMIS. Risken är också stor för fel i indata och för att dokumentationen bakom valda indata kan bli ofullständig. En möjlighet att förbättra denna situation skulle kunna vara att genomföra det förslag som framkom ur EMFO-projektet: Förstudie inför databas för EMFO.

För prognoser föreslås följande insatser:

- Bilinnehav enligt det förslag som utgör resultat av ett EMFO-projekt
- Vidareutveckling av prognosmodellen för trafikarbete
- En fördjupad analys av de samband som kan finnas mellan survival probability, age distribution för nya fordon och trafikprognoser alternativt ekonomisk tillväxt.

Kallstarts- och avdunstningsemissioner baseras på speciella indata omfattande bl.a. reslängder, reshastighet, parkeringstid, temperaturförhållanden m.m. Stora möjligheter finns att förbättra detta underlag genom utvärdering av befintlig mätdata från flottförsök. En viktig datakälla är även de nationella resvaneundersökningarna. Eftersom dessa emissioner beror av temperaturen i olika delar

av fordonet under parkering och vid start är också sådan information viktig för kontroll av ARTEMIS.

Vare sig emissionsfaktorer är framtagna i laboratorium eller genom simulering krävs representativa färdmotstånd. En coast down baserad metod finns tillgänglig för mätning och uppskattning av luft- och rullmotstånd.

5.4 Verifiering/validering

Behov av att verifiera emissionsmodeller för vägtrafik kommer att finnas för överskådlig tid framöver, men fokus för detta behov skiftar över tid beroende på hur långt åtgärderna för att reducera olika fordonsslags utsläpp av luftföroreningar drivits. Exempelvis har åtgärderna för att minska utsläppen av reglerade ämnen från bensindrivna lätta fordon bland världens biltillverkare varit mycket framgångsrika under de senaste två decennierna, vilket inte minst framgår av de verifierande mätningarna med FEAT-teknik som genomförts inom föreliggande projekt. För senare kravnivåer av de bensindrivna lätta fordonen föreligger därför inget större behov av ytterligare verifierande mätningar, åtminstone inte för varmemissionerna, vilka är nära noll. Däremot kan verifierande mätningar med FEAT-teknik - som är unik bland tillgängliga verifieringsmetoder genom möjligheten att koppla uppmätta utsläpp till t ex kravnivå eller årsmodell - fortfarande vara relevant för uppföljning av utsläppen från äldre bensindrivna fordon certifierade mot lägre kravnivåer, vilka sällan omfattas av pågående hållbarhetsprogram/provningar. "Real-world"-kallstartsemissioner är ett annat område som inte studerats i någon nämnvärd omfattning. I övrigt flyttas fokus för verifieringsstudier från de bensindrivna fordonen mot dieseldrivna fordon, såväl lätta (personbilar och lätta lastbilar/bussar) som tunga (lastbilar och bussar), och i viss mån även mot alternativbränslefordon, även om de avgasreningstekniskt sätt i många fall är likvärdiga de bensindrivna fordonen. För alla typer av dieselfordon kommer genom den senaste generationens FEAT-teknik möjligheten att mäta dels NO_x -utsläpp, dels andelen NO_2 av NO_x under "real-world"-förhållanden att vara fortsatt intressant. Genom en förväntad fortsatt tillväxt av dieselpersonbilar på bekostnad av bensinbilarna och ökande dieseltrafik överhuvudtaget, kommer de höga primäremissionerna av NO_2 från nyare dieselfordon att ha betydande inverkan på luftkvaliteten i tätorter och möjligheten att uppfylla gällande miljö kvalitetsnormer.

Resultaten från FEAT-mätningarna på tunga fordon (lastbilar) inom föreliggande projekt, pekar också på ett behov av ytterligare "on-road"-mätningar för att följa upp hur väl de skärpta avgaskraven från Euro 4 och framåt uppfylls under verkliga trafikförhållanden. Här kommer också omgivningstemperatur och körnönster in som viktiga parametrar.

Generellt sett uppvisar samtliga existerande emissionsmodeller store brister när det gäller icke-reglerade ämnen samt icke-avgaspartiklar. Detta beror antingen på att dessa inte mäts av t ex kostnadsskäl i till modellerna underliggande mätprogram (t ex hållbarhetsprogram), eller kan helt enkelt inte mätas i dessa överhuvudtaget (icke-avgaspartiklar). För dessa finns behov av fortsatta tunnelstudier och/eller haltmätningar kombinerade med t ex source-receptorberäkningar i andra trafiknära miljöer.

6 Spridning och publicering av resultat internationellt

Projektet har resulterat i ett flertal publikationer och presentationer vid internationella vetenskapliga konferenser, vilka listas nedan.

Erlandsson, L., Almén, J. Johansson, H. (2008), Measurement of emissions from heavy duty vehicles meeting Euro IV/V emission levels by using on-board measurement in real life operation, *16th International Symposium 'Transport and Air Pollution'*, Graz, June 16-17, 2008.

Erlandsson, L. (2008) Experience from Swedish National Programme for On-Board Measurement of Heavy-Duty Vehicles. *Better Air Quality 2008*, 12 – 14/11, 2008 Bangkok, Thailand.

Larsson, H., Ericsson, E. (2006) Relating Swedish traffic activity data to ARTEMIS traffic situations, In: *Proc. 2nd International Conference "Environment and Transport"*, Reims, France, June 12-14, 2006, vol. 2, p. 338-344.

Sjödin, Å., Ekström, M., Hammarström, U., Yahya, M.-R., Ericsson, E., Larsson, H., Almén, J., Sandström, C., Johansson, H. (2006) Implementation and Evaluation of the ARTEMIS Road Model for Sweden's International Reporting Obligations on Air Emissions. In: *Proc. 2nd International Conference "Environment and Transport"*, Reims, France, June 12-14 2006, vol. 1, p. 375-382.

Sjödin, Å., Jerksjö, M. (2008) Evaluation of European Road Transport Emission Models Against On-Road Emission Data as Measured by Optical Remote Sensing, *17th International Conference 'Transport and Air Pollution' 2008*, Graz.

Erlandsson, L., Almén, J. (2008), Experiences from the Swedish National Program for on-Board Measurement of Heavy Duty Vehicles, *Coordinating Research Council 18th On-Road Vehicle Emissions Workshop*, 31/3 – 2/4, 2008 San Diego, USA.

Jerksjö, M., Sjödin, Å., Bishop, G. A., Stedman, D. H. (2008) On-Road Emission Performance of a European Vehicle Fleet over the Period 1991-2007 as Measured by Remote Sensing. *Coordinating Research Council 18th On-Road Vehicle Emissions Workshop*, 31/3 – 2/4, 2008 San Diego, USA.

7 Referenser

- Björketun U., Nilsson G. (2007) VTI-modellen för skattning av årligt trafikarbete i Sverige. Modellutveckling och hjälpinformation fram till 2005 samt årlig trafikarbets-skattning 1950-2005. VTI-notat 20-2007.
- Carlsson, A. m.fl., (2006) Utvärdering av Stockholmsförsökets effekter på vägtrafikens avgasemissioner, VTI publikation 2006-06-19, VTI, Linköping.
- Colberg C.A., Tona B., Catone G., Sangiorgo C., Stahel W.A, Sturm P., Staehelin J. (2004) "Statistical analysis of the vehicle pollutant emissions derived from several European roadtunnel studies", Atmospheric Environment, Accepted and Rerevised in AE-TAP03-92_24054.
- Edwards H., Nilsson G, Thulin H., Vorwerk P., (1999) Trafikarbetet uttryckt i fordonskilometer på väg i Sverige 1959-1997. VTI-rapport 439. Statens Väg och transportforskningsinstitut
- Erlandsson L, Almén J, Johansson H. (2008) Measurement of emissions from heavy duty vehicles meeting euro IV/V emission levels by using on-board measurement in real life operation, 16th International Symposium "Transport and Air Pollution" 2008, Graz
- EU (2009) <http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/ceilings.htm/> 2009
- Hammarström, U., Karlsson, B., (1998) EMV - ett PC-program för beräkning av vägtrafikens avgasemissioner. Programbeskrivning och användarhandledning. VTI meddelande 849-1998. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Hammarström, U. (2004) Slutrapportering av uppdraget "Vidareutveckling av EMV-modellen, etapp 2". För Vägverket.
- HBEFA (2009) <http://www.hbefa.net/> 2009
- Jensen, S., (1997) Standardised Traffic inputs for the Operational Street Pollution Model (OSPM), NERI Technical Report No. 197, Ministry of the Environment and Energy, Copenhagen, ISBN: 87-7772-332-5
- Keller, M., Kljun. N. (2007a) Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems – ROAD EMISSION MODEL – User Guide, ARTEMIS Deliverable No 12, INFRAS.
- Keller, M., Kljun, N. (2007b) Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems – ROAD EMISSION MODEL – Model Description, ARTEMIS Deliverable No 13, INFRAS.
- LAT (2009) <http://lat.eng.auth.gr/particulates/>
- Matstoms, P. (2004) Om utformning av V/D-funktioner för tätort, VTI notat 14, 2004
- NTM (2009) Nätverket för Transporter och Miljön <http://www.ntm.a.se>

Rodler, J., Sturm, P., Bacher, M., Sjödin, Å., Ekström, M., McCrae, I., Boulter, P., Kurtenbach, R., Wiesen, P., Loerzer, J., Petrea, M., Imhof, D., Prevot, A. S. H., Stachelin, J., Sangiorgo, C., Tona, B., Colberg, C. A. (2005) ARTEMIS WP 1200 - Validation Final Report

SIKA (2009) http://www.sika-institute.se/Templates/Page_482.aspx

SIMAIR (2008) <http://simair.smhi.se/>

Sjödin, Å., Ekström, M., Hammarström, U., Yahya, M-R., Ericsson, E., Larsson, H., Almén, J., Sandström, C., Johansson, H., (2006) Implementation and Evaluation of the ARTEMIS Road Model for Sweden's International Reporting Obligations on Air Emissions, Proc. Int. Symp. "Environment and Transport", Reims, France, June 12-14 2006.

SMHI och Vägverket (2005) SIMAIR: Modell för beräkning av luftkvalitet i vägars närområde – slutrapport mars 2005, SMHI rapport 2005-37.

Sturm, P., Hausberger, S. (2005) Energy And Fuel Consumption From Heavy Duty Vehicles Cost 346 – Final Report http://fvkma.tu-graz.ac.at/COST/II_COST_WG_A.pdf

TRL (2009) www.trl.co.uk/artemis/

UNECE (2009) www.unece.org/env/lrtap/

UNFCCC (2009) <http://unfccc.int/>

Vierth, I. m fl. (2008) Långa och tunga lastbilars effekter på transportsystemet. Redovisning av regeringsuppdrag, VTI rapport 605-2008, VTI, Linköping.

Vägverket (1999) Körsätt 98. Inledande studie av körmonster och avgasutsläpp i tätort samt utveckling av metod för att mäta förändringar av acceleration och hastighet i korsningar, Publikation 1999:137.

Vägverket (2009a) http://publikationswebbutik.vv.se/shopping/ShowItem_3473.aspx

Vägverket (2009b) http://www.vv.se/templates/page3_9342.aspx