



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 19 013

Examensarbete 30 hp
April 2019

Dekomponeringsanalys av personbilstrafikens CO₂-utsläpp i Sverige 1990–2015

Christelle Kalla

REFERAT

Dekomponeringsanalys av personbilstrafikens CO₂-utsläpp i Sverige 1990–2015

Christelle Kalla

År 2045 ska Sverige uppnå territoriella nettonollutsläpp och till år 2030 ska utsläppen från transportsektorn ha minskat med 70 % jämfört med år 2010. Sveriges vägtrafik står för en tredjedel av de totala växthusgasutsläppen. För att uppnå klimatmålen bör de mest lämpade styrmedlen och åtgärderna prioriteras. En systematisk undersökning av de faktorer som påverkat utsläppsutvecklingen kan vägleda beslutsfattare att fördela resurserna där de gör mest nytta. Dekomponeringsanalys är en potentiell metod för detta syfte då flera olika faktorerers effekter kan särskiljas och mätas. Fem additiva LMDI-I dekomponeringsanalyser genomfördes på utsläppsutvecklingen av fossilt CO₂ inom personbilstrafiken mellan åren 1990–2015. De faktorer som undersöktes var befolkning, bil per capita, bränsleteknologier, motorstorlekar, trafikarbete per bil, emissioner och biobränsle. Data från emissionsmodellen HBEFA, Trafikverket och SCB användes i analyserna. Under hela perioden 1990–2015 minskade CO₂-utsläppen och dekomponeringsanalyserna visade att alla de ingående faktorerna påverkat utvecklingen. Sett över hela tidsperioden 1990–2015 hade faktorerna påverkat utvecklingen mest i storleksordningen trafikarbete per bil (35 %), bränsleteknologier (15 %), befolkning (15 %), bil per capita (13 %), emissioner (11 %), biobränsle (7 %) samt motorstorlekar (5 %). Procenten anger andelen som faktorn utgjorde av effekternas absoluta summa. Trafikarbete per bil, emissioner, biobränsle och motorstorlekar minskade utsläppen. Bränsleteknologier, befolkning och bil per capita ökade utsläppen. Resultaten kan användas som en indikation för vilka faktorer som kan påverka den framtida utsläppsutvecklingen mest och för vilka åtgärder bör vidtas. Åtgärderförslag är incitament för att välja mer hållbara transportsätt, öka andelen av bilar med lägre utsläpp i fordonsflottan och använda mer biobränsle.

Nyckelord: Dekomponeringsanalys, Logarithmic Mean Divisia Index, personbilstrafik, fossila utsläpp, HBEFA

ABSTRACT

Decomposition analysis of CO₂ emission from passenger cars in Sweden 1990–2015

Christelle Kalla

By year 2045 Sweden shall reach zero territorial net emissions and by year 2030 the emissions from the transport sector shall be reduced by 70% compared to year 2010. In Sweden the road traffic stands for a third of the total greenhouse gas emissions. In order to achieve the climate targets, the most suited policies and actions should be prioritized. A systematic investigation into the factors that affect the change in emissions can guide decision makers to distribute resources where they contribute the most. A decomposition analysis is a potential method for this purpose since the effect of different factors can be separated and measured. Five additive LMDI-I decomposition analyses were made on the change in fossil CO₂ emission from passenger cars in Sweden between year 1990–2015. The factors that were investigated were: population, vehicle per capita, fuel technologies, engine sizes, distance travelled per vehicle, emissions and biofuel share. Data from the emissions model HBEFA, the Swedish Transport Administration and Statistics Sweden were used in the analyses. During the period of year 1990–2015 the CO₂ emissions were reduced, and the decomposition analyses showed that all ingoing factors affected the change. Throughout the period the factors that contributed the most were in order of size distance travelled per vehicle (35%), fuel technologies (15%), population (15%), car per capita (13%), emissions (11%), biofuel (7%) and engine size (5%). The percentage is the share of the factor's effect of the absolute sum of all the different effects. Distance travelled per vehicle, emissions, bio fuels and engine size reduced the emissions. Fuel technologies, population and car per capita increased the emissions. The suggestions of actions are incentive for people to use more sustainable means for transportation, increase the share of cars with lower emissions in the fleet and use more biofuel.

Keywords: Decomposing analysis, Logarithmic Mean Divisia Index, passenger cars, fossil emissions, HBEFA

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng och har varit det avslutande momentet på civilingenjörsprogrammet i Miljö- och Vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts på Naturvårdsverket i Stockholm under höstterminen 2018.Handledare var Julien Morel, klimatanalytiker på Naturvårdsverket. Ämnesgranskare var Mikael Höök, universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper, Naturresurser och Hållbar utveckling, Uppsala universitet.

Jag vill först och främst tacka min handledare Julien Morel för all hjälp och allt stöd med examensarbetet. Ett stort tack till alla kollegor på Naturvårdsverket som välkomnat mig och som agerat bollplank när det behövts. Ingen nämnd, ingen glömd. Jag vill rikta ett tack till Mohammad-Reza Yahya på IVL och Håkan Johansson på Trafikverket för att ni bistått mig med data till examensarbetet och svarat på mina frågor. Tack även till Veronica Eklund på SCB för svaren på mina frågor. Jag vill också tacka min ämnesgranskare Mikael Höök för all hjälp med rapportskrivningen.

Till sist vill jag tacka min familj och mina vänner som varit ett stöd under examensarbetet och hela min studietid.

Uppsala, mars 2019

Christelle Kalla

Copyright © Christelle Kalla och Institutionen för geovetenskaper, Naturresurser och Hållbar utveckling, Uppsala universitet.

UPTEC W 19 013, ISSN 1401–5765

Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2019.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Dekomponeringsanalys av personbilstrafikens CO₂-utsläpp i Sverige 1990–2015

Christelle Kalla

Sveriges riksdag har bestämt att inga nettoutsläpp ska finnas inom Sveriges gränser år 2045. Därför har riksdagen också bestämt att utsläppen av växthusgaser från transportsektorn ska minska med 70 % till år 2030 jämfört med utsläppen år 2010. Idag kommer cirka en tredjedel av alla växthusgaser från vägtrafiken. EU tillsammans med riksdag och regering har försökt minska utsläppen genom olika åtgärder som exempelvis gränsvärden på bilarnas utsläpp, skatter på bränsle och olika förbud. Det har också funnits åtgärder som belönar miljövänliga val som exempelvis miljöbilspremier och mindre fordonsskatt på bilar som bara släpper ut lite växthusgaser. Eftersom det är svårt att veta vilka åtgärder som gör mest nytta har det frågats efter en metod som på ett vetenskapligt sätt undersöker detta.

Dekomponeringsanalys är en metod som delar upp utvecklingen av utsläpp mellan två valda år i vad som kallas effekter. Varje effekt representerar en förändring som skett mellan åren hos en faktor och hur mycket den förändringen bidragit till utsläppsskillnaden. Exempelvis kan en faktor vara antalet bilar. Om alla i Sverige plötsligt börjar köpa fler bilar och köra runt med dem så kommer det ge en effekt som ökar utsläppsutvecklingen. Ett annat exempel på faktor är bilars utsläpp av växthusgaser per km de körs. Om bilarna under perioden börjar släppa ut mindre växthusgaser per körd km så kommer det ge en effekt som minskar utsläppsutvecklingen.

För att undersöka vilka åtgärder som kan minska utsläppen av växthusgaser inom vägtrafiken till år 2030 gjordes en dekomponeringsanalys. För att inte göra undersökningen alltför stor avgränsades undersökningen till att bara omfatta personbilar. Eftersom det finns flera olika sorters växthusgaser valdes det att bara fokusera på en, koldioxid (förkortas CO₂), som utgör den största andelen av alla växthusgaser. Det brukar skiljas på CO₂ som har fossilt eller biogent ursprung. Fossilt CO₂ kommer från olja och biogent CO₂ kommer från växter. Olja måste hämtas djupt under marken och återbildas inte på flera miljontals år. Biogent CO₂ kan däremot återvinna den CO₂ de släppte ut när nya växter planteras. Därför fokuseras det bara på fossilt CO₂.

För att göra en dekomponeringsanalys behövs en del klimatstatistik. Eftersom den typen av statistik började samlas in först år 1990 valdes det året som startår. Av praktiska skäl för analysen valdes år 2015 som slutår. Det är också lättare att se samband med lite tidsperspektiv. För att det inte skulle bli för många resultat gjordes fem stycken analyser mellan åren: 1990–1995, 1995–2000, 2000–2005, 2005–2010 och 2010–2015. De faktorer som valdes var befolkning, bil per person, biltyper, motorstorlekar, körd sträcka per bil, CO₂-utsläpp per körd sträcka och andel biobränsle.

När alla beräkningar gjorts visade resultaten att effekten av körd sträcka per bil gett det sammanlagt största bidraget med 35 % till utvecklingen och effekten minskade utsläppen.

Det beror troligtvis inte på att bilarna i Sverige körs mindre än vad de gjorde år 1990 utan att antalet bilar ökat mycket mer än vad befolkningen har ökat. Det innebär att även om det finns fler bilar så finns det inte tillräckligt med människor som kan köra runt i dessa. Andra stora effekter var befolkning och biltyper som ökade utsläppsutvecklingen, båda bidrog med 15 % till utvecklingen. Resultaten från analyserna kan användas som vägledning för riksdag och regering när de ska bestämma vilka åtgärder de ska satsa på.

Utifrån dekomponeringsanalyserna så föreslogs några åtgärder som kan minska utsläppen. Dessa var att motivera människor att välja att gå, cykla eller åka kollektivt istället för att ta bilen. Ett annat förslag var att locka människor att köpa bilar med lägre utsläpp med hjälp av olika typer av ekonomiskt stöd. Ett tredje förslag var att öka användningen av biobränslen, då dessa inte släpper ut CO₂ om de framställs på rätt sätt.

Dekomponeringsanalyser är ett bra verktyg för att undersöka utsläppens utveckling och faktorerna bakom den. Förhoppningsvis kommer fler studier i framtiden använda metoden, både inom personbilstrafiken men också inom andra områden. Även resultat från andra faktorer vore intressant att kunna jämföra med detta arbete.

FÖRKORTNINGAR

ASIF	Activity, Structure, energy Intensity, Fuel mix
BNP	Bruttonationalprodukt
CH ₄	Metan
CO	Kolmonoxid
CO ₂	Koldioxid
CO _{2e}	Koldioxidekvivalenter
COPERT	Computer Program to calculate Emissions from Road Transport
EPA	United States Environmental Protection Agency
FAME	Fatty Acid Methyl Esters
fkm	Fordonskilometer
GWP	Global Warming Potential
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport
HC	Kolväten
HFC, PFC, SF ₆ , NF ₃	Fluorerade gaser
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDA	Indexbaserade dekomponeringsanalyser
IEA	International Energy Agency
IPAT	Impact=Population×Affluence×Technology
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Förenta Nationernas klimatpanel
LMDI	Logarithmic Mean Divisia Index
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry
N ₂ O	Lustgas
NIR	National Inventory Report
NO _x	Kväveoxider
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
pkm	Personkilometer
SCB	Statistiska centralbyrån
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
SMED	Svensk miljöemissionsdata
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
SO ₂	Svaveldioxid
SPBI	Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change, Förenta Nationernas klimatkonvention

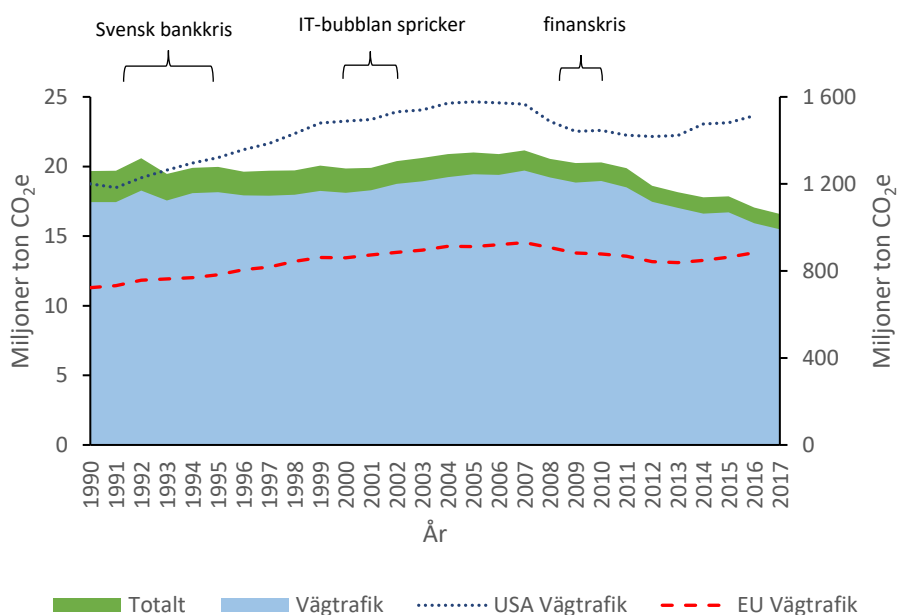
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Referat	i
Abstract.....	ii
Förord	iii
Populärvetenskaplig sammanfattning.....	iv
Förkortningar	vi
1. Inledning.....	1
1.1. Tidigare studier	2
1.1.1. Dekomponeringsanalyser	2
1.2. Syfte och frågeställningar	5
1.2.1. Avgränsningar	6
2. Teori	7
2.1. Beräkning av växthusgaser	7
2.1.1. HBEFA	9
2.1.2. Fossilt och biogent CO ₂	10
2.1.3. Trafikverkets beräkningar.....	12
2.1.4. Styrmedel och andra åtgärder	13
2.1.5. Yttre påverkan	14
2.2. Dekomponeringsanalys.....	15
2.2.1. LMDI-I	17
3. Metod och data	18
3.1. Data	18
3.1.1. HBEFA	18
3.1.2. Trafikverkets beräkningar.....	21
3.1.3. Fossilt scenario	26
3.2. Dekomponeringsanalys.....	27
3.2.1. Indata	27
3.2.2. Ekvation.....	28
4. Resultat	31
4.1. Dekomponeringsanalys 1990–1995.....	33
4.2. Dekomponeringsanalys 1995–2000.....	33
4.3. Dekomponeringsanalys 2000–2005.....	34
4.4. Dekomponeringsanalys 2005–2010.....	34
4.5. Dekomponeringsanalys 2010–2015.....	35

5. Diskussion	36
5.1. Metodval	36
5.2. Valda faktorer	37
5.3. Datakällor.....	39
5.4. Resultat	40
5.4.1. Jämförelse tidigare studier.....	42
5.5. Osäkerheter	45
6. Slutsats.....	47
Referenser	49
Appendix A	i

1. INLEDNING

Klimatförändringarna är ett globalt hot där internationella och nationella åtgärder måste vidtas. I och med den klimatlag (SFS 2017:720) som trädde i kraft den 1 januari 2018 antog riksdagen klimatmålet att Sverige ska uppnå territoriella nettonollutsläpp år 2045 och negativa utsläpp därefter. Transportsektorn står inför den största utmaningen på kort sikt då inrikes transport (väg-, tåg- och båttrafik) fått ett särskilt etappmål om att minska sina utsläpp med 70 procent till år 2030 jämfört med år 2010. Enligt Naturvårdsverket (2017, ss. 19, 55–57) står vägtrafiken i dagsläget för ca en tredjedel av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Utsläppen från vägtrafiken har haft en ökande trend fram till år 2007 men därefter har den varit minskande, se figur 1. Detta trots ökande trafik. Bidragande faktorer till minskningen är mer energieffektiva fordon och att vägtransporter drivs med allt större andel biobränslen, vilket har reducerat utsläppen av koldioxid (CO₂) från personbilar och lastbilar. En liknande trend som i Sverige kan ses för hela USA respektive EU:s sammanlagda utsläpp från vägtrafiken mellan åren 1990–2014, se figur 1. Därefter börjar utsläppen, i motsats till Sveriges utveckling, öka igen.



Figur 1: Utsläpp av växthusgaser i miljoner ton CO₂e i Sverige, USA och EU mellan åren 1990–2017 respektive 1990–2016. Blå färg representerar utsläppen inom vägtrafiken i Sverige och de blå och gröna färgerna tillsammans visar det totala utsläppet inom hela transportsektorn i Sverige, som avläses med vänster y-axel. Den svarta prickade linjen och den röda streckade linjen visar utsläppen från vägtrafiken i USA och hela EU, som avläses med höger y-axel. Ekonomiska kriser under denna period är också utmarkerade. Källa: Naturvårdsverket (2018a), SCB (2016) och UNFCCC (u. å.).

Naturvårdsverket är den myndighet i Sverige som ansvarar för den officiella statistiken av klimatpåverkande utsläpp i landet samt för att följa upp arbetet för att nå de tillsatta klimatmålen. I den uppföljande delen är det problematiskt att kunna särskilja vilken

åtgärd som givit vilken effekt till den utveckling som statistiken visar. Det beror på att många åtgärder samvarierar och uppfyller flera olika mål, inte bara klimatmål. Även faktorer utifrån, som exempelvis energipris, påverkar utvecklingen av klimatutsläppen (Miljö- och Energidepartementet, 2017, s. 42). Det efterfrågas därför, av Naturvårdsverket och Miljö- och Energidepartementet, efter ett mer systematiskt sätt att bedöma bakomliggande faktorer till utsläppsutvecklingen av växthusgaser och på så sätt kunna ta fram bättre åtgärdsförslag inom klimatområdet.

1.1. TIDIGARE STUDIER

Det finns flertalet studier som genom olika metoder analyserat effekten hos bakomliggande faktorer till utsläppsutvecklingen.

Ekonometriska analyser används ofta för att visa effekten av olika styrmedel, såsom skatter. Grafström (2009) och Andersson (2017) använde sig av en ekonometrisk metod för att se koldioxidskattens påverkan på utsläppsutvecklingen inom hushålls- respektive transportsektorn i Sverige. Även Brännlund (2013) använde en ekonometrisk metod för att analysera energiskattens inverkan på energieffektivitet inom transportsektorn. En enklare ekonometrisk metod användes också i Sveriges nationalrapport om klimatförändringar (Miljö- och energidepartementet, 2017, ss. 53–54) för att se effekten av koldioxid- och energiskatt med hjälp av ett scenario på vägtrafikens utsläppsutveckling. En liknande metod användes i samma rapport för att se effekten av användandet av biodrivmedel. I nationalrapporten presenterades vidare även kort en tredje metod som var framtagen av Transportstyrelsen. Den visade tre olika scenarier av hur EU:s miljökrav på personbilar och lätta lastbilar samt nationella styrmedel kopplade till val av bil sedan år 2005 påverkat den totala utsläppsutvecklingen i Sverige. Beräkningarna hade gjorts genom emissionsmodellen HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport) samt genom vissa antaganden för att kunna uppskatta effekten.

I studierna ovan är det svårt att kunna jämföra, och i vissa fall även särskilja, de olika påverkande faktorernas relativa effekt till utvecklingen med varandra. Det är därför svårt att avgöra vilka åtgärder som skulle göra störst nytta på utvecklingen.

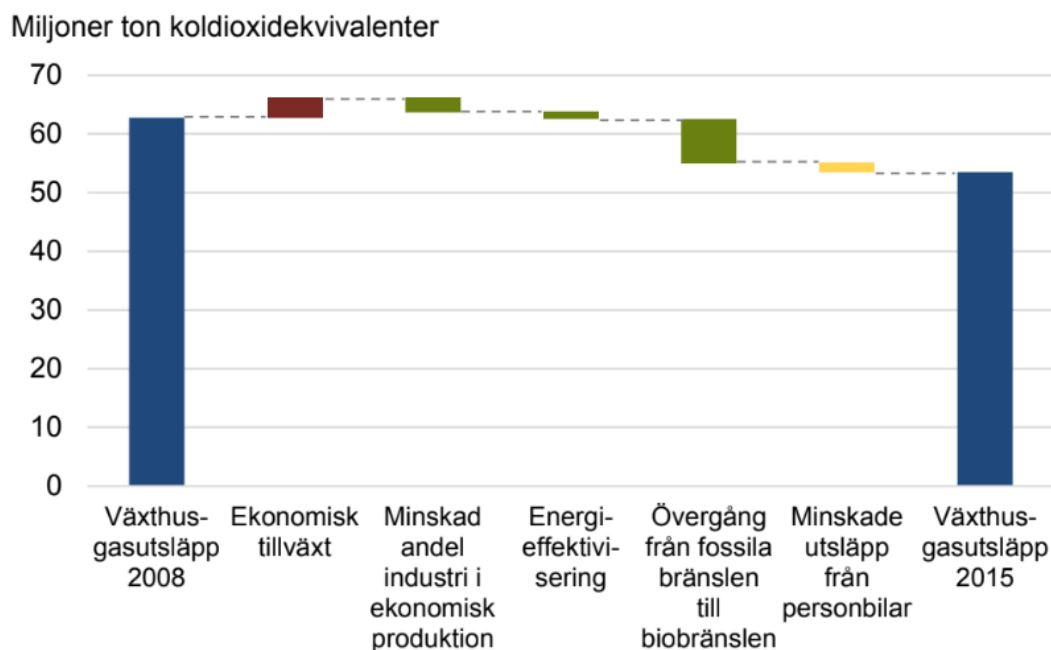
1.1.1. Dekomponeringsanalyser

I en dekomponeringsanalys kan de drivande faktorernas betydelse bakom en viss utveckling mellan två valda år undersökas, såsom utveckling av utsläpp. Analysen visar vilken effekt en förändring hos en faktor gett utvecklingen och flera faktorer kan ingå i analysen samtidigt.

Dekomponeringsanalys har använts i flertalet studier världen över och metoden har sedan 90-talet använts i allt större utsträckning i studier om växthusgasutsläppens utveckling (Ang & Xu, 2013). EU-kommissionen genomförde dekomponeringsanalyser av växthusgasutsläpp hos flertalet EU-länder mellan åren 1995–2012 (ICF, 2016). Metoden har även rekommenderats av OECD (Organisation for Economic Co-operation and

Development) och IEA (International Energy Agency) som verktyg för beslutsfattare när åtgärder för utsläppsminskningar ska utformas (OECD & IEA, 2014, s. 24).

I en rapport av Naturvårdsverket (2017, s. 19) genomfördes en dekomponeringsanalys mellan åren 2008–2015 på Sveriges totala territoriella utsläppsutveckling. De sex faktorer som ingick var befolkning, BNP per capita, energiintensitet, energiomvandlingseffektivitet, andel fossil energi och utsläppsintensitet. Dessa faktorer hade i resultaten satts samman och presenterades som fyra faktorer. Dessa var ekonomisk produktion, fördelning mellan industri- och tjänstesektor, energianvändning samt fördelning av fossila och biobaserade bränslen. Direkta utsläpp från personbilar lades till i resultaten utan att ingå i dekomponeringsanalysen. Resultatet av analysen, som ses i figur 2, visade att den största effekten givits av övergången från fossila bränslen till biobränslen, vilken bidrog till en minskning av utsläpp. Den näst största effekten gavs av ekonomisk tillväxt som däremot bidrog till en ökande utveckling. Summan av alla effekter i analysen resulterade i minskade utsläpp mellan åren 2008–2015.



Figur 2: Dekomponeringsanalys av Sveriges totala utsläpp mellan åren 2008–2015. De blå staplarna visar totala växthusgasutsläpp för respektive år. De mellanliggande staplarna visar olika faktorer effekter till utvecklingen. Med tillstånd av ©Naturvårdsverket. Källa: Naturvårdsverket (2017, figur 7, s. 19).

Av 80 studier som Ang och Xu (2013) sammanställt mellan åren 1991–2012 hade 15 stycken studier genomfört dekomponeringsanalyser inom transportsektorn i länder runtom i världen. Av dessa genomförde bland annat Mediluce och Schipper (2011), Schipper et al. (2011) samt Papagiannaki och Diakoulaki (2009) dekomponeringsanalyser på persontrafikens växthusgasutsläpp i olika länder. Papagiannaki och Diakoulaki (2009) inriktade sig enbart på personbilstrafiken vilket även Kwon (2005) gjorde i sin studie.

Mendiluce och Schipper (2011) analyserades utsläppen från Spaniens transportsektor mellan åren 1990–2008, uppdelat i person- respektive godstrafik. De fyra faktorer som ingick för persontrafiken var personkilometer (pkm), fördelningen av pkm mellan olika transportslag, energikonsumtion per pkm och kolinnehållet i de olika bränslena. Antalet pkm innebär sträckan som en person förflyttas med ett transportmedel. Transportslagen som ingick var flyg, buss, tåg och personbilar. Resultaten för persontrafiken under hela perioden visade att växthusgasutsläppen ökat med 76 % år 2008 jämfört med år 1990. Den största effekten till utsläppsutvecklingen gavs av det ökade antalet pkm som bidrog med 81 % mellan åren 1990–2008. Även övergången från buss och tåg till bil och flyg gav en ökande effekt med 5 %. Energikonsumtion, som påverkas av faktorer såsom fordonens effektivitet, vikt och förarens körsätt, gav en minskad effekt med 7 %. Kolinnehållet förändrades inte under perioden men väntas ha större påverkan om biobränsle börjar blandas in.

Schipper et al. (2011) analyserar transportsektorn i USA mellan åren 1960–2008, uppdelat i person- respektive godstrafik. De sex faktorer som ingick för persontrafiken var pkm, fördelningen av pkm mellan olika transportslag, energikonsumtion per fordonskilometer (fkm), fordonsanvändning angivet i fkm per pkm, bränslemix, samt kolinnehållet i de olika bränslena. Fkm är körd distans för ett fordon och kallas trafikarbete. Transportslagen som ingick var flyg, buss, tåg och personbilar samt lättare lastbilar. Resultaten för persontrafiken under hela perioden visade att växthusgasutsläppen har mer än tredubblats år 2008 jämfört med år 1960. Sedan år 1990 hade utsläppen ökat med ca 26 %. Den största effekten till utsläppsutvecklingen gavs av det ökade antalet pkm som bidrog med 240 % mellan åren 1960–2008 och med 49 % mellan åren 1990–2008. Fördelningen mellan olika transportslag, fordonsanvändning och bränslemix gav också ökande effekter på utvecklingen under hela tidsperioden 1960–2008 med mellan 3–13 %. Mellan 1990–2008 gav dock fördelningen mellan olika transportslag och fordonsanvändning en minskad effekt på utvecklingen med 1 respektive 5 %. Energikonsumtion per fkm gav en minskade effekt med 30 % mellan åren 1960–2008 och med 11 % mellan åren 1990–2008. Kolinnehållet förändrades inte under perioden och bidrog därför inte heller till utvecklingen. I studien används även BNP (bruttonationalprodukt) i separata analyser för att se hur persontrafiken är relaterad till ekonomin i landet. Dessa resultat visade på en minskning av pkm per BNP och emissioner per BNP med 24 respektive 31 % år 2008 jämfört med år 1960 och 11 respektive 30 % jämfört med år 1990.

Papagiannaki och Diakoulaki (2009) undersökte CO₂-utsläpp från personbilar i Grekland och Danmark mellan åren 1990–2005. I studien ingick de sex faktorerna befolkning, personbilar per capita, körda distanser (trafikarbete) per bil och andel bilar av olika bränsletyper, motorstorlekar samt teknologi. Analyserna delades upp med tidsintervaller om fem år, vilket gav tre dekomponeringsanalyser för respektive land. Resultatet för Grekland visade att växthusgasutsläppen ökat med 96 % år 2005 jämfört med år 1990. I alla analyser gavs den största effekten av ökat antal personbilar per capita som ökande utveckling av CO₂-utsläpp. Även befolkningstillväxten och fördelningen av motorstorleken hos bilarna bidrog med ökade effekter till utsläppsutvecklingen i alla

analyser för Grekland. Trafikarbete per bil samt andel bilar av olika bränsletyper och teknologi bidrog däremot med minskade effekter. Resultatet för Danmark visade att växthusgasutsläppen ökat med 31 % år 2005 jämfört med år 1990. Mellan åren 1990–1995 var den största effekten trafikarbete per bil som gav minskade CO₂-utsläpp, däremot vägdes detta upp av övriga effekter under perioden. Mellan åren 1995–2000 var det antalet personbilar per capita som var störst och bidrog till en ökande utveckling av CO₂-utsläpp. Mellan åren 2000–2005 gavs den största effekten återigen av trafikarbetet per bil men denna gång bidrog effekten till ökande utsläpp. Summerat för hela perioden 1990–2005 var personbilar per capita även i Danmark den största effekten som också bidrog till en utsläppsökning i landet. Här gav också befolkningstillväxt och motorstorleken hos bilarna enbart ökande effekter och andel bilar av olika teknologier gav enbart minskade effekter i analyserna.

Kwon (2005) analyserade CO₂-utsläpp från personbilar i Storbritannien mellan åren 1970–2000. De sex faktorerna som ingick i studien var befolkning, pkm per capita, bilanvändning angivet i fkm per pkm, fördelningen av fkm mellan bilar av olika bränsletyper, bränslekonsumtion och CO₂-utsläppen från bränslena. Analyserna delades upp med tidsintervaller om tio år, vilket gav tre dekomponeringsanalyser. Analyserna delades upp med tidsintervaller om tio år, vilket gav tre dekomponeringsanalyser. Resultatet för hela perioden visade att växthusgasutsläppen ökat med över 200 % år 2000 jämfört med år 1970. Under 70-talet ökade utsläppen med 42 %, där pkm per capita gav den största effekten till utsläppsökningen med 70 %. Effekten från bilanvändning bidrog med 19 % till ökningen. Övriga faktorer stod för resterande ökning till utvecklingen. Under 80-talet ökade utsläppen igen, denna gång med 39 %. Här dominerades utsläppsutvecklingen återigen av en ökning i pkm per capita som stod för ungefär 70 % av effekternas absoluta summa. Denna gång minskade effekten från bränslekonsumtion utvecklingen, som stod för ungefär en femtedel av effekternas absoluta summa. Under 90-talet ökade utsläppen med 7,6 % till följd av ökning i bilanvändandet och pkm per capita, som båda stod för varsin tredjedel av effekternas absoluta summa. Återigen minskade effekten från bränslekonsumtion utvecklingen, som stod för ungefär en femtedel av effekternas absoluta summa. Summerat för hela perioden 1970–2000 var pkm per capita den största bakomliggande faktorn till utsläppsutvecklingen i Storbritannien.

1.2. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med detta examensarbete är att undersöka den relativa effekten som olika bakomliggande faktorer har haft på utvecklingen av vägtrafikens växthusgasutsläpp i Sverige. Dessa faktorer bör om möjligt kunna fungera som indikator för att kunna utforma åtgärder till minskade utsläpp. Detta ska göras med hjälp av en dekomponeringsanalys då metoden kan innehålla flera olika faktorer och dessutom särskilja deras effekter från varandra till skillnad från andra metoder. Utifrån följande frågeställningar ska detta syfte uppnås:

1. Hur kan en dekomponeringsanalys utformas för att uppfylla syftet?
2. Vilka bakomliggande faktorer och data kan ingå i den analysen?

3. Vilken av de ingående faktorer bidrar mest till utvecklingen?
4. Hur kan resultaten tillämpas för att utforma effektiva åtgärder som påverkar utvecklingen av vägtrafikens klimatutsläpp?

1.2.1. Avgränsningar

För att arbetet ska rymmas inom tidsramen för ett examensarbete kommer arbetet avgränsas till att endast omfatta personbilstrafiken då det är den vägtransport som står för den största delen av utsläppen inom vägtrafiken (Naturvårdsverket, 2017, s. 56). Dessutom kommer bara utsläppen av CO₂ analyseras. Data kommer användas från år 1990, då statistik kopplat till klimatet började mätas mer systematiskt, fram till år 2015 av analyspraktiska skäl.

2. TEORI

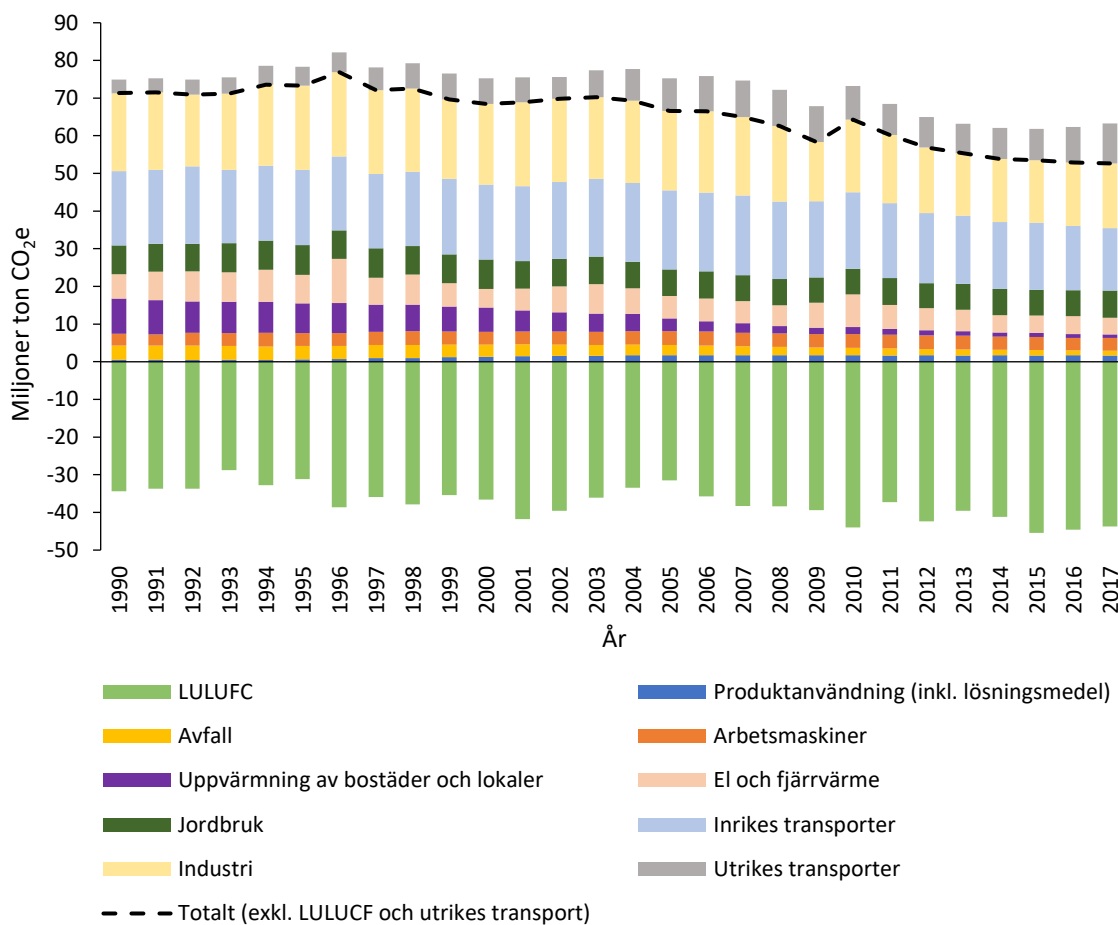
2.1. BERÄKNING AV VÄXTHUSGASER

Naturvårdsverket ansvarar årligen för att beräkna Sveriges territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser för att kunna vidare rapportera till FN:s klimatkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) och EU-kommissionen samt för att följa upp klimatarbetet nationellt. Utsläppen och upptagen beräknas baserat på FN:s klimatpanels (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) metodriktlinjer. Naturvårdsverket har delegerat framtagandet av statistiken till konsortiet SMED (Svenska MiljöEmissionsData) som består av organisationerna IVL Svenska Miljöinstitutet (hädanefter kallat IVL), SCB (Statistiska centralbyrån), SLU (Sveriges lantbruksuniversitet) och SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) (Naturvårdsverket, 2017, s. 3; Naturvårdsverket, 2018c, ss. 15, 48).

De växthusgaser som ingår i rapporteringen är CO₂, metan (CH₄), lustgas (N₂O) och fluorerade gaser (HFC, PFC, SF₆ och NF₃). Även kväveoxider (NO_x), kolmonoxid (CO), svaveldioxid (SO₂) och andra flyktiga organiska ämnen rapporteras eftersom de har en indirekt verkan på växthuseffekten (Naturvårdsverket, 2018c, s. 15). Ämnena skiljer sig i sin påverkan på uppvärmningen av klimatet och för att summera den gemensamma påverkan används enheten koldioxidekvivalenter (CO₂e) som motsvarar storleken på ämnens påverkan som om de alla vore CO₂. Därför multipliceras koncentrationerna av de olika ämnena, förutom CO₂, med respektive uppvärmningspotential (Global Warming Potential, GWP) för att omvandla ämnets påverkan i enheten CO₂e (Naturvårdsverket, 2018b). CO₂ står ändå för det största bidraget av alla växthusgasutsläpp, vilket år 2016 var 80 % av Sveriges totala växthusgasutsläpp (Naturvårdsverket, 2018c, s. 16).

För att beräkna de territoriella växthusgasutsläppen fördelas utsläppen och upptagen in i sektorerna arbetsmaskiner; avfall; el och fjärrvärme; industri; inrikes transporter; jordbruk; markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk; produktanvändning (inklusive lösningsmedel); uppvärmning av bostäder och lokaler och utrikes transporter (Miljö- och energidepartementet, 2017, s. 34). Den enda sektorn som har ett nettoupptag av växthusgaser är markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) då upptaget av kol i skog och mark är större än sektorns utsläpp (Naturvårdsverket, 2017, s. 75). Enligt Naturvårdsverket (2017, s. 106) innefattar sektorn utrikes transporter utsläpp från bunkring av bränslen för utrikes sjöfart och flyg. Bunkring utgör de utsläpp som kommer från bränslen som tankats i Sverige men som släpps ut på väg till en destination utanför landet. Sektorn omfattas i dagsläget inte av några nationella mål men det finns en några internationella åtaganden. Flygresor inom EU omfattas sedan år 2014 av EU:s system för handel med utsläppsrätter (Naturvårdsverket, 2018g). Enligt Naturvårdsverket (2017, s. 106) har även FN-organet International Civil Aviation Organization (ICAO) satt upp klimatmål för sina medlemsländer vad gäller internationellt flyg. För sjöfarten finns ett klimatmål inom EU men inga internationella överenskommelser. Vid uppföljning av de nationella målen och de internationella klimatåtagandena i Sverige utgör de territoriella nettoutsläppen summan av alla sektorer förutom LULUCF och utrikes transport

(Naturvårdsverket, 2017, s. 10). I figur 3 nedan ses utsläppen och upptagen inom respektive sektor mellan åren 1990–2017.



Figur 3: Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser, angivet i miljoner ton CO₂e, i Sverige mellan åren 1990–2017. Staplar på den positiva respektive negativa delen av y-axeln innebär storleken av utsläpp respektive upptag av växthusgaser. Den svarta streckade linjen utgör summan de territoriella nettoutsläppen som brukar används vid uppföljning. Källa: Naturvårdsverket (2018b).

Den svarta streckade linjen i figur 3 utgör de totala territoriella nettoutsläppen av växthusgaser (exklusive LULUCF och utrikes transporter). Från år 1990 har de en ökande trend fram till år 1995 då de går ner och efter millennieskiftet förblir de på en stabil nivå till år 2003. Därefter går trenden ner till år 2017, förutom mellan åren 2009 och 2010 där de totala territoriella utsläppen gör en liten tillfällig ökning efter den ekonomiska krisen år 2008. Den största minskningen sker mellan åren 2003–2014 och fortsätter marginellt att minska fram till år 2017. Utsläppen minskande totalt med 26 % mellan åren 1990–2017 (Naturvårdsverket, 2018b).

Sektorerna i sig delar in sig vidare i olika delsektorer. Inrikes transporter kan delas in i flyg, järnväg, militär transport, sjöfart och vägtrafik. Vägtrafik i sig indelas i kategorierna personbilar, bussar, lätta lastbilar, tunga lastbilar samt mopeder och motorcyklar (Miljö- och energidepartementet, 2017, s. 36).

2.1.1. HBEFA

Bränsleförbrukning och utsläpp från vägtrafiken beräknas av IVL med hjälp av emissionsmodellen HBEFA version 3.3 som kan beräkna utsläpp av 26 olika ämnen (IVL, 2017). HBEFA utvecklades på uppdrag av miljöskyddsmyndigheter i Tyskland, Schweiz och Österrike i mitten på 1980-talet. Under 2000-talet bistod även IVL med utvecklingen av modellen och har arbetat med den sedan dess. Idag används modellen i Tyskland, Schweiz, Österrike, Nederländerna, Frankrike och Sverige (INFRAS, u. å.; IVL, 2017). En beskrivning av hur HBEFA fungerar och används i Sverige finns i annexen till National Inventory Report (NIR) (Naturvårdsverket 2018d, ss. 95–102), vilket är en del i den årliga inrapporteringen till FN:s klimatkonvention och EU-kommissionen. Modellen tar fram de totala utsläppen från fordon i vägtrafiken genom att beräkna utsläppen från huvudkategorierna personbilar, lastbilar, bussar samt mopeder och motorcyklar. Fordonen sorteras vidare i underkategorier beroende på vilket bränsle de använder, deras storlek och slutligen inom olika utsläppsklasser. För varje fordonstyp beräknas utsläppen utifrån emissionsfaktorer, fordonsflotta, trafikarbete och trafiksituationer. Trafiksituationer beskriver olika förhållanden i trafiken såsom trafikflödet, vägtyp och dess egenskaper i form av kurvighet och lutning samt körhastigheter på dessa.

Emissionsfaktorerna i modellen är framtagna av University of Technology i Graz, Österrike, genom så kallade körcykler som representerar verklig körning i Europa (Hausberger & Matzer, 2017). Baserat på dessa emissionsfaktorer räknar HBEFA ut olika emissionsvärden beroende på om fordonsmotorn är varm eller kall, står stilla eller rör sig. Även omgivande temperatur är avgörande för utsläppens storlek vilket modellen tar hänsyn till. Fordonsflottans sammansättning hämtas från vägtrafikregistret och delas in enligt de kategorier och underkategorier som finns i modellen. För personbilar matchas information från Konsumentverket gällande motorstorlek för olika bilmärken och årsmodeller matchas mot vägtrafikregistret för att kunna kategorisera dessa. Trafikarbete innebär längden på fordonskörda sträckor. Dessa beräknas och fördelas utifrån data från en trafikarbetsmodell som använder sig av Trafikverkets mätningar i vägnätet, antalet fordon inom de olika kategorierna samt utifrån uppgifter från fordonsbesiktningens mätarställningar. Fördelning av körsträckornas längd och parkeringstid behövs också för att kunna skatta utsläppens storlek, då detta påverkar motorns temperatur och därigenom emissionsfaktorerna. Detta görs med data från mätningar i ett antal bilar. I HBEFA finns 69 stycken vägkategorier och fyra skalor av trafikflöden, från fritt flöde till trafikstoppning, vilket totalt ger 276 trafiksituationer i modellen. Vägkategorierna beskriver olika vägtyper, deras hastigheter, funktion och utformning. Utifrån olika data och beräkningar fördelas trafikarbetet mellan dessa trafiksituationer i HBEFA för att representera Sverige.

Resultatet av bränsleförbrukning och utsläpp från HBEFA version 3.3 mellan åren 1990–2015 som bearbetats under år 2018 erhöles av Yahya (2018–2019). Utifrån de data var personbilar indelade utefter de fyra bränsleteknologierna bensin-, diesel-, etanol/bensin- (E85) och naturgas/bensinbilar. Personbilar inom de två sistnämnda bränsleteknologierna kommer hädanefter benämnas flexifuelbilar respektive gasbilar. De fyra kategorierna av personbilar kunde i sin tur delas in i olika utsläppsklasser samt motorstorlekar för bensin-

och dieslbilar, se tabell 2. Det fanns fler typer av bränsleteknologier och motorstorlekar under åren 1990–2015 som användes på vägarna i Sverige men alla är inte representerade i modellen. HBEFA utvecklas och uppdateras kontinuerligt för att kunna representera vägtrafiken på bästa sätt (Naturvårdsverket, 2018c, s. 169).

2.1.2. Fossilt och biogent CO₂

De utsläpp som uppkommer vid förbränning av drivmedel av biobaserat ursprung, som exempelvis etanol, biodiesel och biogas, redovisas noll CO₂-utsläpp inom transportsektorn då detta annars skulle leda till en dubbelräkning i de totala beräkningarna av Sveriges utsläpp och upptag. Detta eftersom det uttag av bundet kol som tas från skog och mark vid odling av biobränslen redan är medberäknade inom sektorn LULUCF. I verkligheten sker ett utsläpp vid förbränning av biobränslen av så kallat biogent CO₂ även om detta inte syns i beräkningarna inom transportsektorn. Enligt Naturvårdsverket (2018e, s. 25–26) klassas biobränslen som hållbara eftersom de är förnyelsebara och då inte anses ha någon inverkan på klimatet inom det tidsintervallet det tar för biomassan att återbildas, då det utsläppta kolet har återupptagits igen. Tidsintervallet beror på vilken typ av biomassa som biobränslet är baserat på, men kan uppskattas vara mellan 10–100 år. Däremot leder förbränningen av fossilt bundet kol, som tagit miljontals år att bildas, till en ökad andel CO₂ i atmosfären. Det biobaserade drivmedlet måste dock uppfylla de krav som finns i hållbarhetslagen (SFS 2010:598) för att klassas som hållbara.

Av HBEFA:s fyra ovan nämna bränsleteknologier för personbilar bensin, diesel, etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin finns det i Sverige inblandning av biobaserade komponenter i bränslena som används för respektive teknologi. Dagens bensin innehåller en låginblandning av etanol som är ett biobaserat drivmedel. Etanol har blandats in i bensin sedan år 2000 och utgör idag ca 5 % i de levererade mängderna bensin (Naturvårdsverket, 2018d, s. 84). E85 består beroende på årstid av 75–85 % etanol och 15–25 % bensin. Flexifuelbilar kan köras både på E85, bensin eller vilken blandning som helst av dessa bränslen (SPBI, 2014). Etanol har ca 35 % lägre energivärde än bensin, vilket medför en högre förbrukning av etanol jämfört med bensin (Yahya, 2018–2019). I en del diesel finns inblandning av biodiesel FAME (Fatty Acid Methyl Esters) och HVO (Hydrogenated Vegetable Oil) (Johansson, 2019). Andelen biodiesel i diesel har ökat avsevärt sedan år 2006 (Naturvårdsverket 2018d, s. 87). Enligt Energigas Sverige (2018) introducerades fordonsgas i Sverige på 1990-talet och består av naturgas, biogas eller en blandning av dessa. Sedan år 2008 har biogasandelen varit större än andelen naturgas. Gasbilar har två tanksystem och kan både drivas av gas och bensin. I tabell 1 ses utsläppen av en del direkta och indirekta växthusgaser samt partiklar som respektive bränsleteknologi släpper ut per körd sträcka som kommer från HBEFA (Trafikverket, 2017). Tabellen visar att bilar med bränsleteknologin bensin släpper ut mest av CO₂, HC (kolväten) och CO jämfört med de andra bränsleteknologierna. Dieslbilar släpper ut mest av NO_x och partiklar. Flexifuelbilar släpper ut mest av SO₂ även om skillnaderna mot bensin- och dieslbilar är marginell. Även värmevärden från olika bränslena kan ses i tabell 1 som är hämtade från Energimyndigheten (2017a). De värdena visar att diesel har det högsta energivärdet per m³ följt av bensin och E85. Enligt Energigas Sverige (2019) varierar fordonsgasens energiinnehåll per m³ då gasens volym är temperaturberoende.

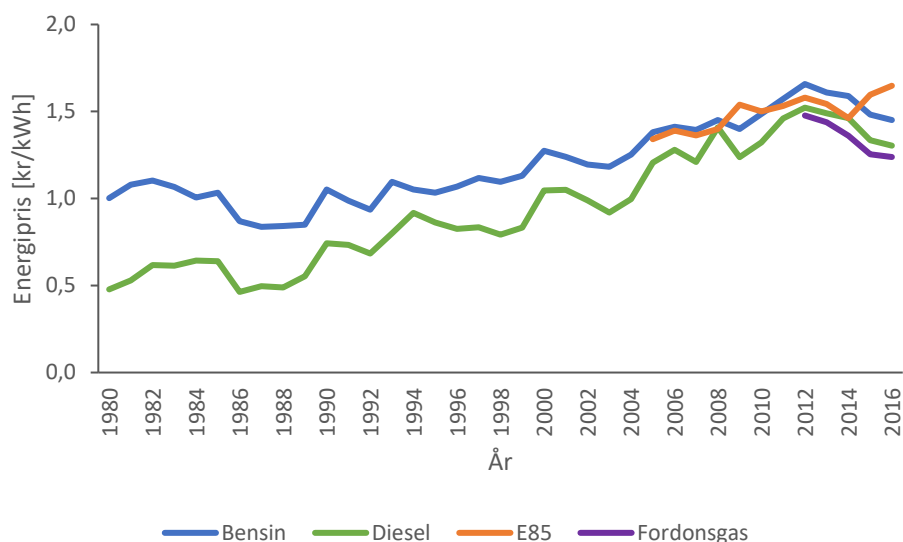
Därför brukar fordonsgasens energiinnehåll antingen anges i Nm³ (normalkubikmeter) som är atmosfärstrycket vid 0 °C eller i kg. 1 kg fordonsgas innehåller ungefär 13 kWh (Energigas Sverige, 2019), vilket motsvarar 1,4 liter bensin, 1,3 liter diesel eller 2 liter E85 beräknat med värmevärdena från tabell 1 nedan.

Tabell 1: Utsläpp av ämnen för respektive bränsleteknologi i trafik samt energiinnehåll för de bränslen som används. Källa: Trafikverket (2017) och Energimyndigheten (2017a).

Bränsleteknologi	UTSLÄPP PERSONBILSTRAFIK [g/km]						ENERGIINNEHÅLL [kWh/m ³]	
	CO ₂	HC	CO	NO _x	SO ₂	Partiklar	Bränsle	Värmevärde
Bensin	180	0,25	1,46	0,14	0,0005	0,0019	Bensin	9 100
Diesel	120	0,02	0,10	0,42	0,0002	0,0054	Diesel	9 800
Etanol/bensin, E85	180	0,02	0,20	0,04	0,0007	0,0012	E85	6 590
Naturgas/bensin	50	0,02	0,36	0,06	0,0000	0,0012	Fordonsgas	10*

*Vid normalkubikmeter

I figur 4 ses det genomsnittliga försäljningspriset mellan åren 1990–2015 för bensin, diesel, E85 och fordonsgas uttryckt i SEK per energienhet. Värdena för bensin, diesel och E85 kommer från Energimyndigheten (2017b). För E85 finns enbart uppgifter mellan åren 2005–2015. Fordonsgaspriset utveckling kommer från Cirkel K:s rekommenderade dagliga priser och omfattar enbart åren 2012–2015 (Energimyndigheten 2016). Priset på fordonsgas varierar även beroende på var i landet det tankas och anges vid försäljning i kr per kg till skillnad från bensin, diesel och E85 som anges i kr per liter. Därför är Cirkel K:s rekommenderade dagliga priser (Energimyndigheten 2016) omräknade utifrån att fordonsgas innehåller 13 kWh per kg (Energigas Sverige, 2019). Figur 4 visar att bensinpriset per energienhet varit högst under hela perioden, förutom mellan åren 2008–2010 då priset på E85 var högre. E85 har under de övriga åren mellan 2005–2015 haft näst högst pris. Dieselpriiset per energienhet har haft det tredje högsta priset sedan E85 inkom i statistiken och fordonsgasen har haft det lägsta energipriiset.



Figur 4: Prisutvecklingen i SEK per kWh för olika bränslen. För bensin och diesel visas utvecklingen mellan åren 1990–2015 och för E85 mellan åren 2005–2015. För fordonsgas kommer uppgifter från Cirkel K:s rekommenderade dagliga priser mellan åren 2012–2015. Källa: Energimyndigheten (2016) och Energimyndigheten (2017b).

2.1.3. Trafikverkets beräkningar

Vid beräkning av de territoriella utsläppen samt inrapportering till FN:s klimatkonvention och EU-kommissionen ingår bara de fossila utsläppen. Beräkningar av CO₂-utsläppen från personbilstrafiken i HBEFA skiljer dock inte på om utsläppen är fossila eller biogena. Modellen hanterar inte heller olika procentuella inblandningar av biobränsle som årligen kan variera (Yahya, 2018–2019). Dessutom ska utsläppen enligt IPCC:s riktlinjer överensstämma med det bränsle som är inköpt i Sverige. Modelleringen i HBEFA syftar till att uppskatta utsläppen från vägtrafiken och tar inte hänsyn till fordons nationalitet eller varifrån bränslet kommer ifrån (Naturvårdsverket, 2018c, s. 170). Därför gör Trafikverket ytterligare beräkningar med hjälp av beräkningar från HBEFA och de nationella bränsleleveranserna som SCB samlat in från företag i Sverige som innehar och säljer bränsle (Naturvårdsverket 2018d, s. 53) för att slutligen räkna ut de fossila CO₂-utsläppen. Eftersom de nationella bränsleleveranserna inte enbart går till personbilstrafiken måste vissa uppskattningar och antaganden göras. Johansson (2019) informerade att Trafikverket utgår från HBEFA:s bränsleförbrukningsdata för att räkna ut energiförbrukningen inom bränsleteknologierna bensin, diesel och naturgas/bensin. Enligt Eklund (2019) beräknas volymen biodiesel (HVO och FAME) som går till vägtrafiken ut genom att fördela samma andel av de totala volymerna biodiesel som vägtrafiken föregående år blivit tilldelad av dieselleveranserna. Därefter fördelades volymen biodiesel ut inom vägtrafikens delsektorer baserat på deras energiförbrukning. Johansson (2019) kunde bekräfta att samma antagande gäller även för etanol vid låginblandning i bensin. För biogas går alla nationella leveranser enbart till vägtrafiken som därefter fördelas ut proportionerligt efter energiförbrukning. Alla nationella bränsleleveranser av E85 däremot går direkt till bränsleteknologin etanol/bensin (E85). Flexifuelbilar tillhörde dock fram till år 2003 bränslekategorin bensin så den bensin som

ingick i E85 hamnade under den bränsleteknologin. Johansson (2019) informerade vidare att volymen av fossilt bränsle inom varje bränsleteknologi beräknas utifrån den återstående energin som finns kvar då energin från de biobaserade bränslenas subtraherats. Eftersom fördelningen av de inrapporterade bränsleleveranserna berör flera sektorer uppkommer det ofta en restpost efter de första beräkningarna som också ska fördelas för att inte underskatta Sveriges totala bränslekonsumtion. Eftersom beräkningarna inom vägtrafiken anses vara mer osäkra än inom andra sektorer och delsektorer får vägtrafiken ta del av denna restpost (Eklund, 2014; Johansson, 2019). Utifrån dessa uppskattningar av de olika bränslevolymer inom respektive bränsleteknologi beräknas de slutliga fossila utsläppen av CO₂ (Johansson, 2019). Även innan bränsleteknologierna etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin var implementerade i HBEFA tilldelades dessa kategorier bränslevolymer.

2.1.4. Styrmedel och andra åtgärder

Sveriges territoriella utsläpp och upptag påverkas av många faktorer, en del som beslutsfattare kan styra men också de som inte går att påverka. I figur 1 ses utsläppen från personbilstrafiken mellan åren 1990–2017. Trenden mellan åren 1990–2007 är ökande och kulminerar åren 2005–2007 för att sedan övergå i en huvudsakligen minskande trend. Mellan åren 1990–2017 sjönk växthusutsläppen inom vägtrafiken med 11 % upplyser Naturvårdsverket (2018e, s. 47). Vidare beskrivs att detta har skett trots att trafiken under hela tidsperioden ökat. Naturvårdsverket (2018e, s. 48) förklarar att utvecklingen beror på trafikarbets storlek, vilka bränsletyper som använts samt hur energieffektiva fordonen varit.

För att påverka utsläppsutvecklingen i den riktning som miljömålen är satta använder sig beslutsfattare av styrmedel och andra åtgärder, även kallat instrument. I detta stycke presenteras några styrmedel och andra åtgärder som anses påverka personbilstrafikens utsläppsutveckling. Då examensarbete avgränsats mellan årtalen 1990–2015 presenteras inte de styrmedel som tillkommit år 2015 och efter det.

Energiskatt tillkom år 1924 respektive 1937 på bensin och diesel (Miljö- och energidepartementet, 2018, s. 43). Enligt Miljödepartementet (2014, ss. 41, 52) infördes koldioxidskatt på drivmedel år 1991 och har höjts i flera omgångar. Skatten beräknades baserat på bränslets innehåll av fossilt kol, vilket innebar att biodrivmedel inte beskattades av koldioxidskatten. Biobaserade drivmedel beskattades tidigare inte heller av energiskatten (Miljödepartementet, 2009, s. 38). När Sverige gick med i EU år 1995 behövdes en del ändringar ske för att anpassas till EU:s direktiv. Exempelvis omfattades naturgas då inte av koldioxidskatten ända fram till år 2015 eftersom det inte fanns med i EU:s energiskattedirektiv (Miljödepartementet, 2014, s. 41). Medlemskapet skapade även svårigheter för den skattebefrielse biobaserade drivmedel hade haft då detta innebar ett undantag från EU:s direktiv och beslut kunde endast fattas för kortare tidsperioder (Riksrevisionen, 2011). Låginblandning av biobaserade komponenter i bensin och dieselbränsle har skett i Sverige sedan millennieskiftet och enligt Transportstyrelsen (u. å.a) begränsades år 2011 inblandningen av EU:s bränsle kvalitetsdirektiv och fick därmed maximalt uppgå till 10 % respektive 7 %. Det finns dock en del undantag från denna

begränsning vad gäller diesel så inblandningen kan vara större än 7 % ifall villkoren för dessa undantag är uppfyllda. År 2013 förändrades beskattningen för både bensin och diesel då endast upp till 5 % av inblandningen var befriad från koldioxidskatten men inte från hela energiskatten (Miljödepartementet, 2014, s. 52). Detta beror på att EU-kommissionen inte tillåter så kallad överkompensation. Överkompensation innebär att ett biodrivmedel inte får ges statligt stöd ifall det ger en snedfördelad konkurrens till de drivmedel de ersätter, såsom fossila drivmedel (Energimyndigheten, 2015).

Nya fordon som säljs inom EU följer EU-lagstiftning och klassas efter sina utsläpp i så kallade utsläppsklasser (tidigare kallat miljöklasser). Enligt Transportstyrelsen (u. å.b) har detta skett från och med 1993 årsmodeller, då fordonen placerades i miljöklasserna 1, 2 eller 3. Dessa motsvarar utsläppsklasserna som kallas Euro 1, 2, 3 och 4 (Yahya 2018–2019). Därefter har det tillkommit ytterligare utsläppsklasser med högre krav. Konsumentverket (u. å.) presenterar de nuvarande klasserna som Euro 3, Euro 4, Euro 5a–5b, 6a–6d, El, Elhybrid och Laddhybrid. Enligt Miljö- och energidepartementet (2018, s. 51–52) infördes år 2006 pumplagen (SFS 2005:1248) som gör att en del större drivmedelsstationer är skyldiga att tillhandahålla biobaserade drivmedel såsom E85 och biogas. Detta år infördes även differentierad fordonsskatt som premierar nytillverkade bilar med lägre CO₂-utsläpp. Nya bilar med lägre CO₂-utsläpp fick fördelar även år 2009 då vissa fick skattebefrielser. Kraven för dessa skärptes år 2013. Mellan åren 2007–2009 fanns en miljöbilspremie och år 2012 infördes en supermiljöbilspremie för personbilar med ännu högre krav på CO₂-utsläpp. Enligt Miljödepartementet (2014, ss. 11, 52–53) ökade personbilars energieffektivitet under perioden med dessa styrmedel, framförallt var den växande andelen bränslesnåla dieslar en bidragande orsak. Detta var också en av de huvudsakliga orsakerna till att utsläppen minskade mellan år 2007–2009. Nackdelen med dieselbilar är att de släpper ut högre halter av NO_x och partiklar jämfört med andra bränsleteknologier, se tabell 1 för en jämförelse. Därför påförs ett miljötillägg i fordonsskatten för denna bränsleteknologi.

Andra instrument som används inom personbilstrafiken är enligt Naturvårdsverket (2018f) exempelvis vägtullar, trängselavgifter, miljözoner och sänkta hastigheter. Dessa är i första hand utformade för att nå de miljömål som berör luftkvalitet men samverkar även med klimatmålen om minskade utsläpp av växthusgaser.

2.1.5. Yttre påverkan

De faktorer som är svårare att styra är exempelvis ekonomi som påverkar de flesta sektorer. Mellan åren 1990–2016 har Sverige haft tre ekonomiska kriser då också BNP minskade enligt SCB (2016). Dessa finns markerade i figur 1 tillsammans med utvecklingen av växthusgasutsläpp inom transportsektorn och vägtrafiken i Sverige och EU. Den första inträffade i början av 1990-talet vilket var en kombinerad bank-, finans- och fastighetskris, den andra kom i samband med att IT-bubblan sprack kring millennieskiftet och den tredje år 2008, då det var en global finanskris. Transportsektorn påverkas också av oljemarknaden och därför även av konflikter i dessa områden. Exempelvis när råoljepriset ökade under åren 2007–2008 dämpade det transporttillväxten

och stimulerade till en större efterfrågan på energieffektivare fordon (Miljödepartementet, 2009, s. 47).

Även normer i det svenska samhället påverkar. Användningen av drivmedlet E85 i flexifuelbilar svängde kring år 2008 då det i media blev kritiserat (Miljödepartementet, 2014, s. 54). Pröckl (2015) skriver i en artikel att odling av etanolen ansågs ta resurser från matproduktion, att klimatnyttan med avseende på produktion var ifrågasatt och att tekniska problem i flexifuelbilar uppstått åren 2009–2010 då leveranser av E85 haft höga sulfathalter. En standard för sulfathalten infördes men enligt den artikel Fröberg (2014) publicerade var inställningen till E85 fortsatt negativ. Enligt artikeln rekommenderade flertalet servicetekniker att tanka bensin istället för E85 i flexifuelbilar.

Dessutom kan vädret inverka på utsläppens storlek. Enligt USA:s miljöskyddsmyndighet EPA (United States Environmental Protection Agency) (u. å.a) medför kyla en ökad förbränning i motorer, minskad batteriprestanda och sämre däckgrepp samtidigt som värme ökar avdunstningen hos bränslet. Även funktioner i bilen såsom värmefläkt, sätesvärme och luftkonditionering påverkar bränsleförbrukningen. Bensinbilars bränsleförbrukning kan öka med upp till 12–22 % vid -7 °C jämfört med 25 °C. Vid varmt väder kan luftkonditioneringen öka bränsleförbrukningen med upp till 25 % (EPA, u. å.b). Vädret kan också skapa problem i trafiken i sig, året om, som i sin tur påverkar utsläppens storlek.

2.2. DEKOMPONERINGSANALYS

Dekomponering betyder att dela upp något sammansatt. I detta examensarbete handlar det om att dela upp CO₂-utsläppen inom personbilstrafiken mellan förändringar i faktorer som bidragit till utsläppen. I en dekomponeringsanalys jämförs dessa förändringars betydelse för utsläppsutvecklingen mellan två valda år, eller effekter som det kallas. Resultatet visar storleken som varje effekt haft på utvecklingen.

Ang (2004) skriver att dekomponeringsanalyser började utvecklas och användas efter oljekrisen under 1970-talet för att studera energikonsumtion och påverkan från dess bakomliggande faktorer. När klimatförändringar kopplade till växthusgaser uppmärksammades kring år 1990 började dekomponeringsanalyser även användas för att studera utsläpp, främst inriktat på energirelaterade CO₂-utsläpp. Den grupp av dekomponeringsanalyser som används inom energi- och klimatområdet kallas indexbaserade dekomponeringsanalyser (IDA). IDA utgår från att definiera en ekvation till det som ska studeras med de faktorer som ska ingå. De faktorer som brukar ingå vid studier av IDA på energiområdet är relaterade till aktivitet, struktur och intensitet. I IDA-studier på CO₂-utsläpp ingår ofta ännu fler effekter, såsom bränslemix och emissionskoefficienter, vilket gör dessa studier mer komplexa (Ang & Xu, 2013).

När Kwon (2005) utformade en IDA-ekvation för CO₂-utsläpp inom personbilstrafiken utgicks det från sambandet mellan mänsklig aktivitet och miljöpåverkan. Detta samband kallas IPAT och dess beräknas enligt ekvation (1).

$$\text{Impact} = \text{Population} \cdot \text{Affluence} \cdot \text{Technology} \quad (1)$$

I sambandet ovan ingår tre faktorer som har miljöpåverkan (I, impact) nämligen befolkning (P, population), välstånd (A, affluence) och teknologi (T, technology). Utifrån IPAT utvecklar Kwon (2005) ekvation (2) för personbilstrafiken nedan,

$$C = P \cdot \frac{D}{P} \cdot \frac{C}{D} \quad (2)$$

där C är själva miljöpåverkan (I) som ges av mängden utsläpp av CO₂. P är befolkningens mängd (P). $\frac{D}{P}$ är trafikarbete per capita och motsvarar välstånd (A). $\frac{C}{D}$ är utsläpp per körd sträcka och motsvarar teknologi (T). Papagiannaki och Diakoulaki (2009) utgår från ekvation (3) i sin dekomponeringsanalys av personbilstrafiken som är en utökad version av ekvation (2).

$$C^t = P^t (V/P)^t \sum_i \left(f_i D_i^t F_i^t \left(\sum_j S_{ij}^t \sum_k (T_{ijk}^t e_{ijk}) \right) \right) \quad (3)$$

där C är mängden utsläpp av CO₂, P är befolkningens mängd i landet, (V/P) är antalet personbilar per capita, f_i är en konstant emissionsfaktor av CO₂ för bränsletyp i , D_i är den körda medeldistansen för personbilar med bränsletyp i , F_i är andelen personbilar med bränsletyp i , S_{ij} är andelen personbilar med motorstorlek j och bränsletyp i , T_{ijk} är andelen personbilar med teknologin k , motorstorlek j och bränsletyp i och e_{ijk} är den konstanta specifika bränslekonsumtionen hos personbilar med teknologin k , motorstorlek j och bränsletyp i . t anger under vilket år värdena för respektive variabel kommer ifrån.

Utifrån IPAT har även andra ekvationer för dekomponeringsanalys utvecklats. Enligt Kwon (2005) är ASIF-ekvationen (Activity, Structure, energy Intensity, Fuel mix) en utökning av IPAT som bland annat Mendiluce och Schipper (2011) samt Schipper et al. (2011) använder i sin studie. Kwon (2005) beskriver också att Kaya-identiteten är en variant av IPAT som Naturvårdsverket (2017) använder i sin studie.

I en studie av Ang (2004) undersöks den mest föredragna dekomponeringsmetoden. Inom IDA finns det flertalet metoder, de mest använda är de som tillhör de så kallade Divisia index- respektive Laspeyres index-familjerna. Efter en genomgång av dessa metoder i studien är slutsatsen att Logarithmic Mean Divisia Index I (LMDI I) inom Divisia index-familjen den som rekommenderas att använda. Studien av Ang (2004) inriktar sig på IDA inom energiområdet men samma slutsats dras i studien av Ang & Xu (2013). I den studien görs en sammanställning av 80 stycken studier där IDA applicerats på CO₂-utsläpp och LMDI var den mest föredragna metoden. LMDI-I används också av Kwon (2005), Papagiannaki och Diakoulaki (2009), Mendiluce och Schipper (2011), Schpper et al (2011) samt Naturvårdsverket (2017) och rekommenderas även av IEA & OECD (2014, s. 131).

2.2.1. LMDI-I

Det som utmärker LMDI-I från andra metoder inom IDA är att den är lätt att använda och att flera faktorer kan ingå i analysen vilket är att föredra i IDA studier av utsläpp (Ang & Xu, 2013). LMDI-I ger även en perfekt dekomponering som innebär att det inte blir kvar någon oförklarlig residual i analysen, vilket andra metoder kan ge. Nackdelarna med metoden är att den inte kan hantera negativa tal, nollor eller saknade värden i dataseten då logaritmiska termer och kvoter förekommer. Negativa tal förekommer dock sällan och nollor eller saknade värden går att komma runt ifall dessa ersätts med ett litet positivt tal (Ang, 2005). Den anses också vara svår att presentera för personer som inte är insatta på området (OECD & IEA, 2014, s. 131). Det finns dock två olika sätt att utföra dekomponering, antingen additivt eller multiplikativ. Valet av dekomponering beror på hur resultatet ska presenteras, där multiplikativ kan vara fördelaktigt i tidsserieanalyser men additiv anses vara lättare att förstå i presentation av resultaten då procentuella förändringar används (Papagiannaki & Diakoulaki, 2009). Naturvårdsverket (2017) och (Papagiannaki & Diakoulaki, 2009) använder sig av den additiva formen och Mendiluce och Schipper (2011) och Schipper et al (2011) använder sig av den multiplikativa formen. Kwon (2005) presenterar sina resultat i båda formerna.

Ang (2004) presenterar den additiva LMDI-I dekomponering. I den metoden beräknas ett logaritmiskt medelvärde ut av det som ska studeras. Det logaritmiska medelvärdet ligger mellan det aritmetiska och geometriska medelvärdet och beräknas enligt ekvation (4) nedan.

$$L(a, b) = \frac{a - b}{\ln(a) - \ln(b)} \quad a, b > 0, a \neq b \quad (4)$$

Där a och b är de två värden som det logaritmiska medelvärdet $L(a, b)$ ska beräknas mellan. För personbilstrafikens CO₂-utsläpp innebär det att ett logaritmiskt medelvärde tas av de totala CO₂-utsläppen mellan två valda år. För att få varje faktors effekt beräknas den logaritmerade kvoten av respektive faktor mellan år t och år 0 för att sedan multipliceras med det logaritmiska medelvärdet. En positiv effekt innebär att effekten bidrar till en ökande utveckling av CO₂-utsläpp medan en negativ effekt motverkar en sådan utveckling. Summan av alla effekterna ger skillnaden i det totala CO₂-utsläppen inom personbilstrafiken mellan år t och år 0. Utformningen av en additiv LMDI-I dekomponering kan ses i avsnitt 3.2. Dekomponeringsanalys, vilken är inspirerad av den additiva LMDI-I dekomponering som Papagiannaki och Diakoulaki (2009) gjorde sin studie.

3. METOD OCH DATA

3.1. DATA

När utformningen av dekomponeringsanalysen av CO₂-utsläppen inom personbilstrafiken genomfördes behövdes relevant data för syftet samlas in för att veta vilka faktorer som skulle ingå i analysen. En litteraturstudie på området genomfördes och studien av Papagiannaki och Diakoulaki (2009) gav inspiration då den passade in med de frågeställningar och avgränsningar som examensarbetet utgick ifrån. I studien använde sig författarna av data från emissionsmodellen COPERT (Computer Program to calculate Emissions from Road Transport) för att genomföra jämförande LMDI-I dekomponeringsanalyser mellan länderna Danmark och Grekland. I samrådan med klimatanalytiker på Naturvårdsverket kontaktades IVL som arbetar med HBEFA, vilket är Sveriges motsvarande emissionsmodell till COPERT. Efter att modellens data från Yahya (2018–2019) bearbetats behövdes det kompletterande data för att kunna beräkna de slutgiltiga fossila CO₂-utsläppen men också energiandelen hos bibränslena. Detta eftersom andelen biobaserat bränsle var en potentiell faktor till dekomponeringsanalysen. Trafikverket kontaktades och bistod med ytterligare data av Johansson (2019). I de data var HBEFA:s beräkningar justerade mot de nationella bränsleleveranserna och gav enbart de fossila utsläppen. Med data från HBEFA och Trafikverket skapades ett fossilt scenario där CO₂-utsläppen beräknades ifall inga bibränslen ersatt de fossila inom respektive bränsleteknologi för åren 1990–2015. Detta gjordes för att kunna visa vilken effekt de biobaserade bränslenas inblandning i de fossila bränslena haft på utvecklingen av de fossila CO₂-utsläppen i dekomponeringsanalysen. Data för befolkningsstatistiken i Sverige mellan åren 1990–2015 hämtades från SCB (2018).

Under följande rubriker i detta avsnitt beskrivs data och beräkningar från HBEFA och Trafikverkets samt det fossila scenariot mer ingående. Data från åren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 och 2015 var de som slutligen valdes att ingå i dekomponeringsanalysen. Därför är endast data från dessa år presenterade i vissa tabeller och figurer eftersom det ansågs ge en tillräckligt överskådlig bild av de data som användes för det slutliga resultatet.

3.1.1. HBEFA

Trafikarbete och personbilsantal som HBEFA-modellen år 2018 tagit fram mellan åren 1990–2015 erhöles av Yahya (2018–2019). Även data av det totala, det vill säga både biogena och fossila, CO₂-utsläppen inom personbilstrafiken ingick. Trafikarbete var angivet i fkm per år och CO₂-utsläppen var angivna i ton per år. Trafikarbetet, antalen och utsläppen var indelad enligt de kategorier som kan ses i tabell 2.

Tabell 2: Kategorier som data för personbilstrafiken från HBEFA-modellen var indelad i.

BRÄNSLETEKNOLOGI (Förkortning)	MOTORSTORLEK [L]	UTSLÄPPSKLASSER	ÅR MED DATA
Bensin (P)	<1,4; 1,4– <2; ≥2	Euro 0–6	1990–2015
Diesel (D)	<1,4; 1,4– <2; ≥2	Euro 0–6	1990–2015
Etanol/bensin, E85 (FFV*)	-	Euro 4–6	2003–2015
Naturgas/bensin (CNG**/P)	-	Euro 3–6	2005–2015

*Flexifuel vehicle

**Compressed Natural Gas

De olika data var indelade för personbilar med bränsleteknologierna bensin, diesel, etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin. HBEFA hade även indelning för personbilar som var ladd- och elhybrider men dessa hade implementerats i modellen först efter år 2015. Som ses i tabell 2 fanns data för flexifuel- respektive gasbilar bara mellan åren 2003–2015 respektive 2005–2015. Personbilar drivna med bensin och diesel delades in i tre olika kategorier av cylinderstorleken på motorn vilka var mindre än 1,4 liter, mellan 1,4–2 liter och större än eller lika med 2 liter. Denna indelning fanns inte för flexifuel- och gasbilar. Personbilarna delades även in efter utsläppsklasser, där bensin- och dieselbilar indelades efter klasserna Euro 0 till Euro 6 medan flexifuel- och gasbilar tillkommit senare och därför utsläppsklassats från den tid då de fanns på marknaden. Euro 0 representerar utsläppsklasser med utsläppskrav som kom innan Euro 1 (Yahya, 2018–2019).

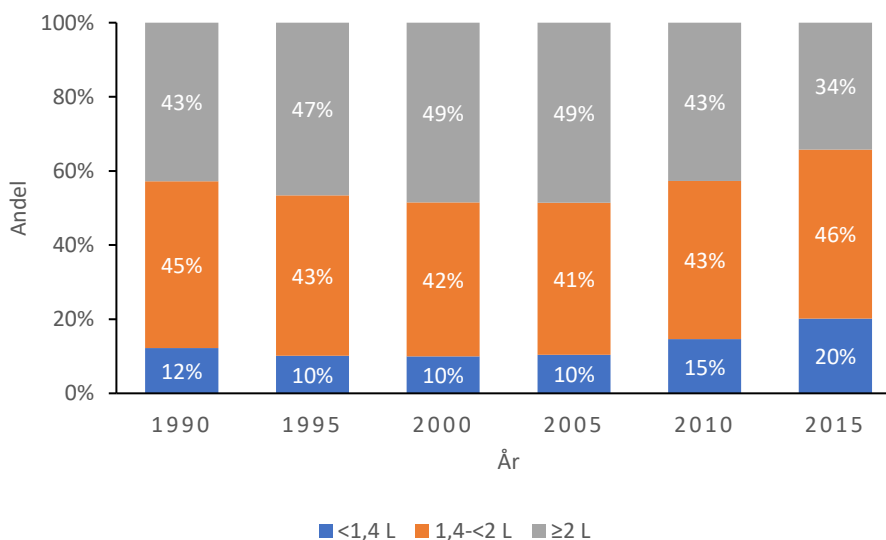
I tabell 3 ses antalet personbilar och trafikarbete från HBEFA åren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 och 2015 för fordonsflottan totalt samt de olika bränslekategorierna. I tabell 3 hittas även befolkningsstatistik från SCB (2018) och bil per capita som räknades ut genom att dividera antalet bilar med befolkningsstatistiken.

Tabell 3: Data för fordonsflottan totalt samt respektive bränsleteknologi. Antal och trafikarbete var indata i HBEFA för uträkning av CO₂-utsläpp. Bil per capita är ett medelvärde uträknad baserat på bilantal från HBEFA samt befolkningsstatistik från SCB. Källa: Yahya (2018–2019) samt SCB (2018).

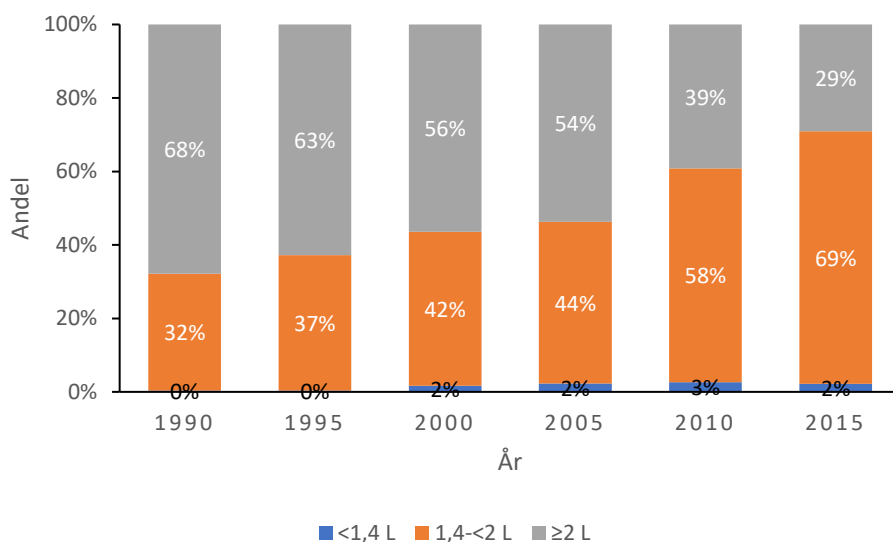
FORDONSFLOTTAN TOTALT				BENSIN		
År	Befolkning	Antal	Trafikarbete [10 ⁶ fkm]	Bil per capita	Antal, andel	Trafikarbete, andel
1990	8 590 630	3 627 110	55 696	0,42	97%	95%
1995	8 837 496	3 633 443	56 897	0,41	97%	96%
2000	8 882 792	3 971 031	58 555	0,45	95%	92%
2005	9 047 752	4 171 503	61 580	0,46	94%	89%
2010	9 415 570	4 368 800	62 712	0,46	81%	70%
2015	9 851 017	4 690 858	65 246	0,48	65%	51%

År	DIESEL		ETANOL/BENSIN (E85)		NATURGAS/BENSIN	
	Antal, andel	Trafikarbete, andel	Antal, andel	Trafikarbete, andel	Antal, andel	Trafikarbete, andel
1990	3%	5%	-	-	-	-
1995	3%	4%	-	-	-	-
2000	5%	8%	-	-	-	-
2005	5%	10%	1%	1%	0,1%	0,2%
2010	14%	23%	5%	6%	1%	1%
2015	30%	42%	5%	5%	1%	2%

Fördelningen i procent av antalet bensin- och dieslbilar med de olika motorstorlekarna ses i figur 5 och figur 6 nedan för åren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 och 2015.



Figur 5: Andelar av antalet personbilar med de indelade cylinderstorlekarna på motorn för bränsleteknologierna bensin. Källa: Yahya (2018–2019).



Figur 6: Andelar av antalet personbilar med de indelade cylinderstorlekarna på motorn för bränsleteknologierna diesel. Källa: Yahya (2018–2019).

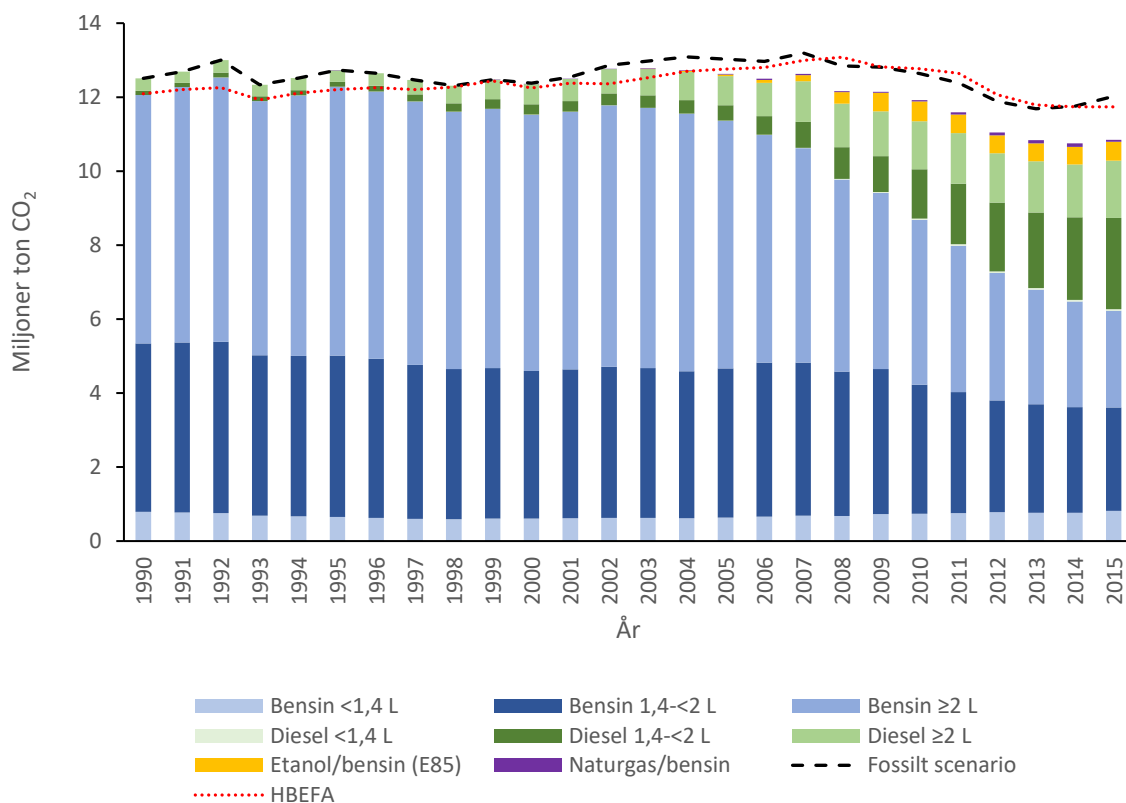
I appendix A finns ytterligare data från HBEFA presenterat. Där visar figur A1 de CO₂-utsläpp som HBEFA beräknat för åren 1990–2015 inom personbilstrafiken. Figuren visar även där hur stor del respektive bränsleteknologi och motorstorlek bidragit med. I figur 7 visas även de totala CO₂-utsläppen i en jämförande figur med olika beräkningssätt av utsläpp. I appendix A finns även tabell A1 som visar de fyra bränsleteknologiernas fossila och biogena emissioner per fkm baserade på data från HBEFA för valda årtal.

3.1.2. Trafikverkets beräkningar

Då beräkningar i HBEFA inte var anpassade till de olika inblandningarna i bränslena eller skiljde på fossila och biogena CO₂-utsläpp erhöles ytterligare data från Johansson (2019). De data innehöll det beräknade fossila CO₂-utsläppen inom personbilstrafiken som Trafikverket år 2018 tagit fram mellan åren 1990–2015. Dessa data utgick ifrån energiinnehållet i de beräknade bränsleförbrukningarna som HBEFA tagit fram och var sedan justerad inom varje bränsleteknologi mot de nationella bränsleleveranserna för att slutligen beräkna de fossila CO₂-utsläppen. Utsläppen var angivna i ton per år.

Resultatet av utsläppen skiljde sig från de i HBEFA och var endast indelad efter de olika bränsleteknologierna bensin, diesel, etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin. För att inom bränsleteknologierna bensin och diesel kunna fördela utsläppen efter motorstorlek användes samma procentuella fördelning som utsläppsberäkningarna i HBEFA gett. Detta då motorstorlek var en potentiell faktor för dekomponeringsanalys. I Trafikverkets beräkningar fanns det dessutom utsläppsuppgifter från fler årtal för bränsleteknologierna etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin än vad data från HBEFA beräknat. I Trafikverkets beräkningar fanns det data för etanol/bensin (E85) åren 1995–2015 och för naturgas/bensin åren 1995 samt 1999–2015. I figur 7 ses de CO₂-utsläpp som Trafikverket beräknat för åren 1990–2015 inom personbilstrafiken. Figuren visar hur stor del respektive bränsleteknologi och motorstorlek bidragit med. I figuren ses en röd prickad linje som representerar de totala CO₂-utsläppen som HBEFA beräknat och en

svart streckad linje om representerar ett fossilt scenario som presenteras under kommande rubrik.



Figur 7: CO₂-utsläpp från personbilstrafiken mellan åren 1990–2015. Staplarna representerar bidraget från respektive bränsleteknologi och för bensin- och dieslbilar även motorstorlekar. Beräkningarna baserar sig på data av Trafikverket samt HBEFA. Den rödprickiga linjen visar det totala CO₂-utsläppet som HBEFA beräknat. Den streckade svarta linjen visar ett fossilt scenario. Källa: Johansson (2019) och Yahya (2018–2019).

I tabell 5 ses emissionsdata från Trafikverkets beräkningar åren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 och 2015 för de olika bränsleteknologierna. Emissionerna räknades ut genom att dividera CO₂-utsläppen med antalet fkm för varje bränsleteknologi. Antalet fkm kom från de indata som använts i HBEFA.

I data av Johansson (2019) fanns även de uppskattade volymerna i m³ av de ingående bränslekomponenterna för varje bränsleteknologi. Det totala energiinnehållet i bränslevolymer kunde utifrån data beräknas och de biobaserade och fossila bränslekomponenternas energiinnehåll kunde också separeras och beräknas. I tabell 4 ses värmevärdena i kWh per m³ som användes för att beräkna energiinnehållet hos varje bränsle. Värdena överensstämmer med de bränslen som återfinns i tabell 1 som kommer från Energimyndigheten (2017a). I tabell 4 finns även bränslenas fossila CO₂-utsläpp per

energienhet i enheten ton CO₂ per kWh samt vilket ursprung bränslet har. Värdena var konstanta för bensin och naturgas medan det för diesel varierade mellan 259–271 ton CO₂ per kWh under åren 1990–2015. Detta kan bero på att värdet för diesel som drivmedel varierat i större utsträckning från år till år än för de andra drivmedlen (Energimyndigheten, 2018). För etanol, HVO/FAME och biogas beräknas dessa inte ha några CO₂-utsläpp enligt resonemanget i avsnitt 2.1.2 Fossilt och biogent CO₂.

Tabell 4: Ursprung, energiinnehåll samt fossilt CO₂-utsläpp per energienhet för respektive bränsle. Källa: Johansson (2019).

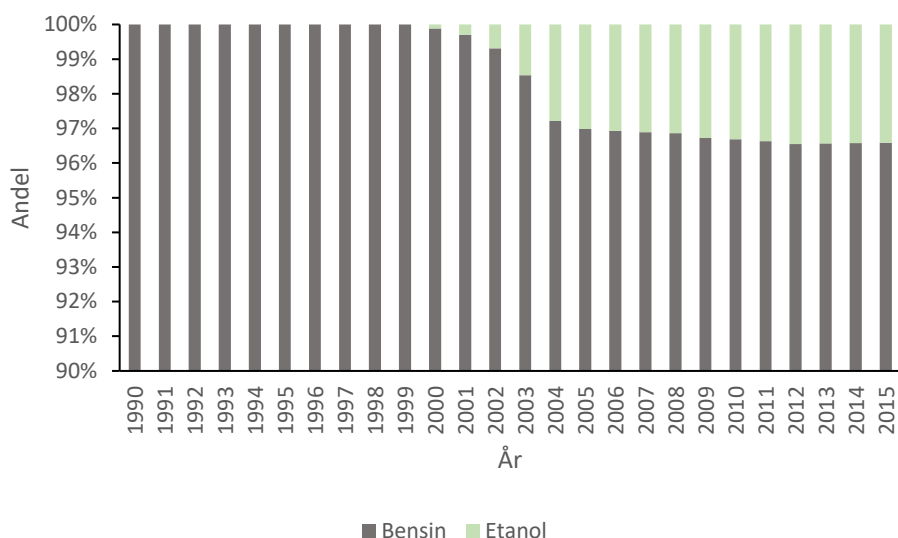
BRÄNSLEVÄRDEN			
Bränsle	Ursprung	[kWh/m ³]	[ton CO ₂ /kWh]
Bensin	Fossil	9 100	259
Etanol	Biobaserad	5 900	-
Diesel	Fossil	9 800	259-271**
HVO/FAME	Biobaserad	9 330	-
Naturgas	Fossil	12*	196
Biogas	Biobaserad	10*	-

*Vid normalkubikmeter

**Varierande värde

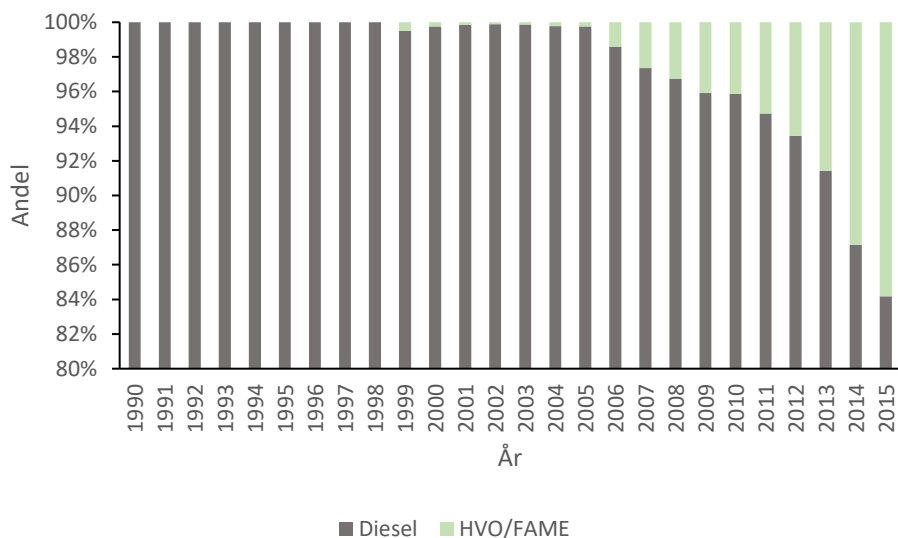
I figur 8–11 kan fördelningen av energin i procent ses mellan bränslekomponenterna inom respektive bränsleteknologi. Observera att axlarna i diagrammen kan skilja sig i de olika figurerna då årtal med data varierar samt för att kunna se de mindre procentandelarna.

För bränsleteknologin bensin ses i figur 8 energiandelarna av bensin och etanol som är fördelade av Trafikverket. Inblandning av etanol i bensin förekommer från år 2000 och ökar därefter till att ligga kring 3 % mellan åren 2004–2015. Själva volymen etanol utgör en större procentandel av de levererade bränsleleveranserna av låginblandad bensin vilket beror på att etanol har ca 35 % lägre energivärde jämfört med bensin.



Figur 8: Andelar av energi i procent av de fossila och biobaserade komponenterna inom bränsleteknologin bensin mellan åren 1990–2015. De grå och de gröna staplarna representerar de fossila respektive de biobaserade komponenterna. Observera att y-axeln startar vid 90 % för att tydligare visa andelen av etanol. Fördelningen baserar sig på Trafikverkets beräkningar. Källa: Johansson (2019).

För bränsleteknologin diesel ses i figur 8 energiandelarna av diesel och HVO/FAME som är fördelade av Trafikverket. Inblandning av HVO/FAME i diesel förekommer från år 1999 och ligger under 1 % fram till år 2006 då en succesiv ökning sker varje år. År 2015 är energiandelen HVO/FAME ca 16 %.



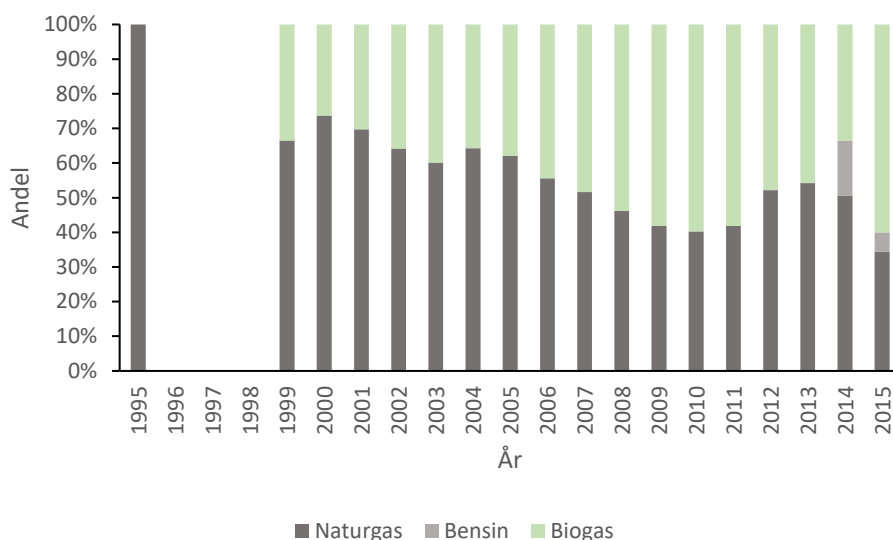
Figur 9: Andelar av energi i procent av de fossila och biobaserade komponenterna inom bränsleteknologin diesel mellan åren 1990–2015. De grå och de gröna staplarna representerar de fossila respektive de biobaserade komponenterna. Observera att y-axeln startar vid 80 % för att tydligare visa andelarna av HVO/FAME. Fördelningen baserar sig på Trafikverkets beräkningar. Källa: Johansson (2019).

För bränsleteknologin etanol/bensin (E85) ses i figur 10 energiandelarna av etanol och bensin som är fördelade av Trafikverket. Enligt Johansson (2019) tillhörde flexifuelbilar bränsleteknologin bensin fram till år 2003 och andelen bensin från E85 gick därför dit. Etanolen i E85 tilldelades dock bränsleteknologin etanol/bensin (E85) mellan åren 1995–2002. När HBEFA sedan implementerade bränsleteknologin etanol/bensin (E85) i sin modell gick flexifuelbilar under sin egen kategori. Andelen bensin varierar åren 2003–2015 mellan ca 37–82 %.



Figur 10: Andelar av energi i procent av de fossila och biobaserade komponenterna inom bränsleteknologin etanol/bensin (E85) mellan åren 1995–2015. De grå och de gröna staplarna representerar de fossila respektive de biobaserade komponenterna. Fördelningen baserar sig på Trafikverkets beräkningar. Källa: Johansson (2019).

För bränsleteknologin naturgas/bensin ses i figur 10 energiandelarna av naturgas, bensin och biogas som är fördelade av Trafikverket. År 1995 tilldelades bränsleteknologin en mängd naturgas och därefter tillkom inga uppgifter förrän år 1999. Åren 1999–2015 låg användandet av biogas mellan ca 26–40 %. Åren 2014 och 2015 fanns även en andel bensin som låg på 16 respektive 6 %.



Figur 11: Andelar av energi i procent av de fossila och biobaserade komponenterna inom bränsleteknologin naturgas/bensin mellan åren 1995–2015. De grå och de gröna staplarna representerar de fossila respektive de biobaserade komponenterna. De år som saknar stapel finns det inga uppgifter ifrån. Fördelningen baserar sig på Trafikverkets beräkningar. Källa: Johansson (2019).

3.1.3. Fossilt scenario

För att kunna visa effekten av de biobaserade bränslenas inblandning i en dekomponeringsanalys gjordes ett scenario där energin inom personbilstrafiken representerades av enbart fossila bränslen. Scenariot utgick från de beräkningar Trafikverket gjort (Johansson, 2019) med avseende på den totala energin inom de fyra bränsleteknologierna bensin, diesel, etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin och även HBEFA:s utsläppsandelar av motorstorlek för bensin- och dieslbilar. Det antogs att andelen biobaserad energi ersattes med samma mängd fossil energi inom respektive bränsleteknologi. Värdena för utsläpp per energienhet i tabell 4 användes för att beräkna de slutliga CO₂-utsläppen inom respektive bränsleteknologi.

I tabell 5 ses emissionsdata från det fossila scenariot åren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 och 2015 för de olika bränslekategorierna. Även Trafikverkets emissionsdata finns i tabellen för jämförelse. Emissionerna räknades ut genom att dividera CO₂-utsläppen med antalet fkm för varje bränsleteknologi. Antalet fkm kom från HBEFA. Multipliceras det fossila scenariot med andelen fossil energi i figur 8–11 erhålls Trafikverkets emissionsvärden.

Tabell 5: Medelvärden av emissioner uttryckta i g CO₂-utsläpp per fkm för respektive bränsleteknologi. Emissionerna är uträknade baserat CO₂-utsläppen från det fossila scenariot och Trafikverkets beräkningar samt på trafikarbete från HBEFA. Källa: Johansson (2019) och Yahya (2018–2019).

År	BENSIN		DIESEL		ETANOL/BENSIN (E85)		NATURGAS/BENSIN	
	Emissioner [g CO ₂ /fkm]		Emissioner [g CO ₂ /fkm]		Emissioner [g CO ₂ /fkm]		Emissioner [g CO ₂ /fkm]	
	Trafikverket	Fossilt Scenario	Trafikverket	Fossilt Scenario	Trafikverket	Fossilt Scenario	Trafikverket	Fossilt Scenario
1990	227,0	227,0	174,2	174,2	-	-	-	-
1995	225,2	225,2	188,8	188,8	-	-	-	-
2000	214,5	214,8	171,6	172,0	-	-	-	-
2005	206,5	212,9	197,5	198,0	111,8	188,2	270,3	435,8
2010	198,2	205,0	187,6	195,7	132,8	192,5	60,5	150,2
2015	186,5	193,1	147,3	174,9	155,6	189,8	53,7	130,8

I appendix A finns ytterligare data från det fossila scenariot presenterat. Där visar figur A2 de CO₂-utsläpp det fossila scenariot gav för åren 1990–2015 inom personbilstrafiken. Figuren visar även där hur stor del respektive bränsleteknologi och motorstorlek bidrog med. I figur 7 visas även de totala CO₂-utsläppen i en jämförande figur med olika beräkningssätt av utsläpp.

3.2. DEKOMPONERINGSANALYS

När lämpliga indata för dekomponeringsanalys hade samlats in valdes LMDI-I som dekomponeringsmetod. Detta då den var både rekommenderad i litteraturen och vanlig i utsläppsstudier, se avsnitt 2.2.1. LMDI-I.

Fem dekomponeringsanalyser valdes att genomföras under åren 1990–2015, med ett intervall om fem år och med start år 1990. Det innebar att enbart data från åren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 och 2015 användes. Effekternas resultat från varje dekomponeringsanalys summerades också för att sammanfatta hela perioden mellan åren 1990–2015.

3.2.1. Indata

Dekomponeringsanalyserna valdes att utföras på de beräkningar av fossila CO₂-utsläpp som Trafikverket tagit fram då dessa är de som används för att uppföljning av de nationella klimatmålen och som rapporteras in till FN:s klimatkonvention och EU-kommissionen.

De sju faktorerna som valdes att ingå i analyserna presenteras i tabell 6. Dessa valdes med inspiration från studien av Papagiannaki och Diakoulaki (2009) och utifrån de data som presenterats ovan, hänvisningar till tabeller och figurer samt källa kan också ses i tabell 6.

Tabell 6: Beskrivning av de faktorer och deras effekter som ingick i dekomponeringsanalyserna.

FAKTOR	FÖRKORTNING	ENHET	EFFEKT	HÄNVISNING	KÄLLA
Befolkning	P	<i>person</i>	Befolkningseffekt, speglar befolkningsökningen	Tabell 3	SCB (2018)
Bil per capita	V/P	$\frac{bil}{person}$	Biläggareffekt, speglar förändringar av antalet bilar per person	Tabell 3	Yayha (2018–2019) och SCB (2018)
Bränsleteknologier	F	%	Struktureffekt av bränsleteknologi, speglar förändringar i fördelningen mellan bränsleteknologiernas bilantal	Tabell 3	Yayha (2018–2019)
Motorstorlekar*	S	%	Struktureffekt av motorstorlek, speglar förändringar i fördelningen mellan motorstorlekarnas bilantal	Figur 5–6	Yayha (2018–2019)
Trafikarbete per bil	D	$\frac{fkm}{bil}$	Trafikarbeteffekt, speglar förändringar av körd sträcka per bil	Tabell 3	Yayha (2018–2019)
Emissioner	E	$\frac{g CO_2}{fkm}$	Emissionseffekt, speglar förändringen av emissioner från bilar	Tabell 5	Fossilt scenario-avsnittet
Biobränsle	R	%	Biobränsleffekt, speglar inblandningen av biobränsle i fossila bränslen	Figur 8–11	Johansson (2019)

*Gäller bara för bränsleteknologierna bensin och diesel

De faktorer som ingick var befolkning (P), bil per capita (V/P), bränsleteknologier (F), motorstorlekar (S), trafikarbete per bil (D), emissioner (E) och biobränsle (R). Faktorens förändring mellan två år speglas av de olika effekterna i dekomponeringsanalysen. I tabell 6 finns dessa effekter beskrivna.

Då saknade värden inte kunde hanteras av metoden LMDI-I valdes indelningen av utsläppsklasserna från HBEFA bort. Föreslaget av Ang (2005) att ersätta dessa nollor och saknade värden med ett litet positivt tal ansågs ge svårtolkade resultat och missvisande effekter. I de försök som utfördes gav flera effekter ett stort bidrag till utsläppsutvecklingen när ett värde gick från ett litet tal till ett betydligt större. Värdena för emissioner (E) baserades på de emissioner som ett fossilt scenario skulle ge. Vid multiplikation med biobränslefaktorerna (R) gavs de emissioner som Trafikverket beräknat. Dessa separerades eftersom det fanns en önskan om att visa biobränsleeffekten separat.

3.2.2. Ekvation

Från faktorerna i tabell 6 skapades ekvation (5) med inspiration från ekvation (3) av Papagiannaki och Diakoulaki (2009).

$$C^t = P^t(V/P)^t \sum_i F_i^t \left(\sum_j S_{ij}^t D_{ij}^t E_{ij}^t R_{ij}^t \right) \quad (5)$$

där C är utsläpp av CO_2 uttryckt i ton, P är befolkningmängden i landet, (V/P) är antalet personbilar per capita, F_i är andelen personbilar av bränsleteknologi i , S_{ij} är andelen personbilar med motorstorlek j av bränsleteknologi i , D_{ij} är medelvärdet av körd sträcka per personbil av bränsleteknologi i och motorstorlek j uttryckt i miljoner fkm/bil, E_{ij} är medelvärdet av emissioner för bränsleteknologi i och motorstorlek j uttryckt i CO_2 g/fkm och R_{ij} är andelen fossila bränslen inom bränsleteknologi i och motorstorlek j . t anger under vilket år värdena för respektive variabel kommer ifrån.

Ekvation (5) och enheterna från faktorerna i tabell 6 kontrollerades och gav den överensstämmande ekvationen nedan. TV står för Trafikverket och FS står för fossilt scenario och syftar på data från dessa.

$$[ton CO_{2,TV}] = [person] \left[\frac{bil}{person} \right] \sum_i \left[\frac{i}{bil} \right] \left(\sum_j \left[\frac{j}{i} \right] \left[\frac{10^6 fkm}{j} \right] \left[\frac{g CO_{2,FS}}{fkm} \right] \left[\frac{kWh fossil_{TV}}{kWh fossil_{FS}} \right] \right)$$

Eftersom det är utvecklingen mellan två år som undersöks i en dekomponeringsanalys subtraherades CO_2 -utsläppen i ekvation (5) mellan år t och ett startår 0 för att få skillnaden ΔC enligt ekvation (6)

$$\Delta C = P^t (V/P)^t \sum_i F_i^t \left(\sum_j S_{ij}^t D_{ij}^t E_{ij}^t R_{ij}^t \right) - P^0 (V/P)^0 \sum_i F_i^0 \left(\sum_j S_{ij}^0 D_{ij}^0 E_{ij}^0 R_{ij}^0 \right) \quad (6)$$

Ovanstående ekvation visar att utsläppskillnaden ΔC beror av förändringar i faktorerna, det vill säga effekterna. Dessa är befolkningseffekt (ΔP), biläggareffekt ($\Delta(V/P)$), struktureffekt av bränsleteknologi i (ΔF_i), struktureffekt av bränsleteknologi i med motorstorlek (ΔS_{ij}), trafikarbeteffekt för bränsleteknologi i med motorstorlek j (ΔD_{ij}), emissionseffekt för bränsleteknologi i med motorstorlek j (ΔE_{ij}) och biobränsleffekt för bränsleteknologi i med motorstorlek j (ΔR_{ij}). För att presentera resultatet av de olika effekterna valdes additiv dekomponering som skrivs enligt ekvation (7)

$$\Delta C = \Delta P + \Delta(V/P) + \Delta F + \Delta S + \Delta D + \Delta E + \Delta R \quad (7)$$

Effekterna i ekvation (7) beräknades genom ekvationerna (8)–(13).

$$\Delta P = \sum_i \sum_j (L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) \ln(P^t/P^0)) \quad (8)$$

$$\Delta(V/P) = \sum_i \sum_j \left(L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) \ln \left(\frac{(V/P)^t}{(V/P)^0} \right) \right) \quad (9)$$

$$\Delta F = \sum_i \sum_j (L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) \ln(F_{ij}^t / F_{ij}^0)) \quad (10)$$

$$\Delta S = \sum_i \sum_j (L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) \ln(S_{ij}^t / S_{ij}^0)) \quad (11)$$

$$\Delta D = \sum_i \sum_j (L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) \ln(D_{ij}^t / D_{ij}^0)) \quad (12)$$

$$\Delta E = \sum_i \sum_j (L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) \ln(E_{ij}^t / E_{ij}^0)) \quad (13)$$

$$\Delta R = \sum_i \sum_j (L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) \ln(R_{ij}^t / R_{ij}^0)) \quad (14)$$

där $L(C_{ij}^t, C_{ij}^0)$ är det logaritmiska medelvärdet och skrivs enligt ekvation (4) som

$$L(C_{ij}^t, C_{ij}^0) = \frac{(C_{ij}^t - C_{ij}^0)}{(\ln C_{ij}^t - \ln C_{ij}^0)}$$

I data för bränsleteknologierna etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin fanns bara samtliga data från alla källor för åren 2003–2015 respektive 2005–2015. Ekvation (7) delades då upp i två beräkningar. Den första gällde för åren 1990–2005 och inkluderade endast data för bränsleteknologierna bensin och diesel. Den andra beräkningen gällde för åren 2005–2015 och inkluderade samtliga bränsleteknologier. Detta gav upphov till en rest i dekomponeringsanalyserna för åren 1990–1995, 1995–2000 och 2000–2005 som kom från utsläpp inom bränsleteknologierna etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin då dessa hade data från Trafikverket under dessa år. Denna rest kan ses i resultaten.

4. RESULTAT

Tabell 7(a) visar resultatet från fem LMDI-I dekomponeringsanalyser på utsläppsutvecklingen av CO₂ inom personbilstrafiken mellan åren: 1990–1995, 1995–2000, 2000–2005, 2005–2010 och 2010–2015. I tabellen kan storleken på olika effekters inverkan till utvecklingen ses angivna i ton CO₂. Ett positivt värde innebär att effekten bidrar till en ökning av CO₂-utsläpp medan en negativ motverkar denna ökning. ΔC i tabell 7(a) visar summan av alla effekterna mellan de valda åren och i tabell 7(b) representerar ΔC utsläppsdifferensen från Trafikverkets beräkningar mellan dessa år. Där en skillnad mellan de två ΔC i (a) och (b) uppstått presenteras en rest i tabell 7(b). Det summerade resultatet från varje effekt för alla dekomponeringsanalyser mellan åren 1990–2015 presenteras också i tabell 7(a).

Tabell 7: (a) Resultat av fem dekomponeringsanalyser på utsläppsutvecklingen av CO₂ inom personbilstrafiken. Till vänster ses de olika effekter som ingår i analysen samt summan av dessa längst ner. Till höger ses summan av varje effekt från alla analyser samt den totala summan av alla dessa längst ner. (b) Trafikverkets beräkningar av CO₂-utsläppen och differensen mellan dessa. Längst ner ses en jämförelse mellan ΔC från (a) och (b).

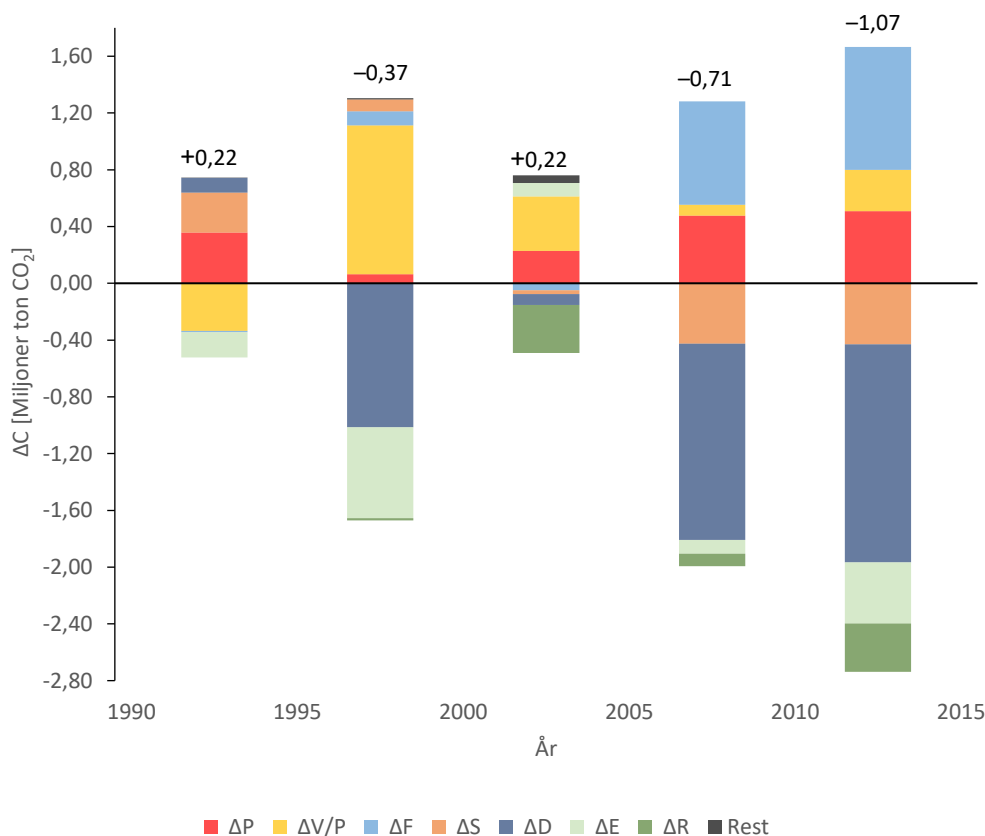
(a) DEKOMPONERINGSANALYSER

Effekt, utsläpp [ton CO ₂]	År, dekomponeringsanalyser					Summa effekt, utsläpp
	1990–1995	1995–2000	2000–2005	2005–2010	2010–2015	
ΔP	357 282	63 985	229 056	477 615	507 689	1 635 627
ΔV/P	-335 282	1 047 978	384 037	76 273	291 039	1 464 044
ΔF	-9 102	99 734	-49 025	729 163	866 508	1 637 277
ΔS	281 000	84 272	-26 292	-425 285	-430 984	-517 288
ΔD	104 647	-1 014 351	-77 494	-1 383 745	-1 534 871	-3 905 815
ΔE	-179 145	-640 156	93 316	-96 368	-431 342	-1 253 695
ΔR	0	-15 399	-337 297	-87 285	-341 087	-781 068
=						
ΔC	219 400	-373 937	216 300	-709 633	-1 073 049	-1 720 918

(b) TRAFIKVERKETS BERÄKNINGAR

C år 0	12 508 004	12 728 569	12 362 652	12 632 997	11 923 364	12 508 004
C år t	12 728 569	12 362 652	12 632 997	11 923 364	10 850 315	10 850 315
ΔC	220 565	-365 917	270 345	-709 633	-1 073 049	-1 657 689
Rest b-a	1 165	8 020	54 045	-	-	63 229

Tabellens resultat av de fem dekomponeringsanalyserna uttrycks grafiskt i ett stapeldiagram, se figur 12 nedan. Effekternas storlek för var och en av dekomponeringsanalyserna representeras med höjden på de olikfärgade staplarna som står på varandra. Även restposten representeras med en stapel. Staplar på den positiva y-axeln bidrar till en ökning av CO₂-utsläppen och staplar på den negativa y-axeln bidrar till en minskning av CO₂-utsläppen. Den totala summan av dessa effekter för varje dekomponeringsanalys kan ses ovanför varje stapel och i tabell 7(a). Observera att y-axeln och summorna på staplarna visar ΔC i miljoner ton CO₂.



Figur 12: Resultat av fem dekomponeringsanalyser på utsläppsutvecklingen av CO₂ inom personbilstrafiken. Varje effekts bidrag till utsläppsutvecklingen samt restpost representeras av de olikfärgade staplarnas höjd. Staplar på den positiva y-axeln och den negativa y-axeln bidrar till ökade respektive minskade utsläpp. Summan för varje dekomponeringsanalys ses ovanför varje stapel.

Varje effekts och rests andel i procent av staplarna i figur 12 presenteras i tabell 8. Det är alltså andelen i procent för varje effekt eller rest av den absoluta summan för alla effekter och rester. Även hela summerade perioden 1990–2015 finns presenterad i tabell 8.

Tabell 8: Andelar i procent av den absoluta summan av alla effekterna och rester för respektive dekomponeringsanalys och även hela summerade perioden mellan åren 1990–2015.

Effekt	1990–1995	1995–2000	2000–2005	2005–2010	2010–2015	1990–2015
ΔP	28%	2%	18%	15%	12%	15%
$\Delta V/P$	26%	35%	31%	2%	7%	13%
ΔF	1%	3%	4%	22%	20%	15%
ΔS	22%	3%	2%	13%	10%	5%
ΔD	8%	34%	6%	42%	35%	35%
ΔE	14%	22%	7%	3%	10%	11%
ΔR	0%	1%	27%	3%	8%	7%
Rest b-a	0%	0%	4%	0%	0%	1%
=						
Summa	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Resultaten för varje dekomponeringsanalys i tabell 7–8 och figur 12 beskrivs utförligare nedan med en del hänvisningar till figurer och tabeller från teori- och metodavsnitten. En del information från dekomponeringsanalyserna som inte syns i tabell 7–8 och figur 12 presenteras också i nästföljande text.

4.1. DEKOMPONERINGSANALYS 1990–1995

I dekomponeringsanalysen mellan åren 1990–1995 ökade utsläppen från 12,5 till 12,7 miljoner ton CO₂. Den största effekten till utvecklingen gavs av ΔP som stod för 28 % av effekternas absoluta summa. ΔP ökade utsläppen då befolkningsökningen gick från 8,6 till 8,8 miljoner människor under perioden, vilket är en ökning med ca 2 %. ΔS var också en bidragande effekt till utsläppsökningen då andelen bilar av största motorstorlek ökade med ca 4 %, se figur 5. ΔS stod för 22 % av effekternas absoluta summa. Även ΔD gav upphov till en ökning av utsläpp då trafikarbetet ökade från 55,7 till 56,9 miljarder fkm (ca 2 %) samtidigt som antalet bilar inte ökade i samma takt. ΔD ökade framförallt för bilar. Den näst största effekten till utvecklingen gavs av $\Delta(V/P)$ som stod för 26 % av effekternas absoluta summa. $\Delta(V/P)$ minskade utsläppen då antalet bilar per capita gick ner från 0,42 till 0,41 bilar per capita, vilket är en minskning med ca 1 %. ΔE var också en bidragande effekt till utsläppsminskningen då emissioner från bilar minskade, framförallt för bilar som gick från 227 till 225 g CO₂ per fkm, se tabell 5. Även ΔF gav upphov till en mindre utsläppsminskning. ΔR gav ingen effekt då inga biobränslen ingick i beräkningarna för åren 1990–1995. En rest uppkom som gav en marginell utsläppsökning. Denna rest kom från bränsleteknologin naturgas/bensin som hade otillräckliga data för att ingå i beräkningarna.

4.2. DEKOMPONERINGSANALYS 1995–2000

I dekomponeringsanalysen mellan åren 1995–2000 minskade utsläppen från 12,7 till 12,3 miljoner ton CO₂. Den största effekten till utvecklingen gavs av $\Delta(V/P)$ som stod för 35 % av effekternas absoluta summa. $\Delta(V/P)$ ökade utsläppen då bilägandet gick från 0,41

till 0,45 bilar per capita, vilket är en ökning med ca 10 %. ΔF var också en bidragande effekt till utsläppsökningen då andelen dieslbilar och deras utsläpp ökade mer än vad bensinbilar och deras utsläpp minskade. Även ΔS gav upphov till en ökning av utsläpp då andelen bensinbilar med den största motorstorleken återigen ökade, denna gång med ca 2 % som ses i figur 5. ΔP ökade också utsläppen då befolkningen gick från 8,8 till 8,9 miljoner människor, vilket är en ökning med ca 1 %. Den näst största effekten till utvecklingen gavs av ΔD som stod för 34 % av effekternas absoluta summa. ΔD minskade utsläppen då trafikarbetet ökade från 56,9 till 58,5 miljarder fkm (ca 3 %) samtidigt som antalet bilar ökade ännu mer, från 3,6 till 4,0 miljoner bilar (ca 11 %). ΔD minskade framförallt för bensinbilar. ΔE var också en bidragande effekt till utsläppsminskningen då emissioner från bilar minskade, framförallt för bensinbilar som gick från 225 till 215 g CO₂ per fkm, se tabell 5. ΔE stod för 22 % av effekternas absoluta summa. Även ΔR gav upphov till en mindre utsläppsminskning då. En rest uppkom som gav en marginell utsläppsökning. Denna rest kom från bränsleteknologin naturgas/bensin som hade otillräckliga data för att ingå i beräkningarna.

4.3. DEKOMPONERINGSANALYS 2000–2005

I dekomponeringsanalysen mellan åren 2000–2005 ökade utsläppen från 12,3 till 12,6 miljoner ton CO₂. Den största effekten till utvecklingen gavs av $\Delta(V/P)$ som stod för 31 % av effekternas absoluta summa. $\Delta(V/P)$ ökade utsläppen då bilägandet gick från 0,45 till 0,46 bilar per capita, vilket är en ökning med ca 2 %. ΔP ökade utsläppen då befolkningen gick från 8,9 till 9,0 miljoner människor, vilket är en ökning med ca 1 %. ΔP stod för 18 % av effekternas absoluta summa. Även ΔE gav upphov till en ökning av utsläpp då emissioner från bilar ökade, framförallt för större dieslbilar. Medelvärdet för dieslbilar gick från 172 till 198 g CO₂ per fkm, se tabell 5. Den näst största effekten till utvecklingen gavs av ΔR som stod för 27 % av effekternas absoluta summa. ΔR gav en minskad effekt, främst på grund av låginblandning av etanol hos bensinbilar, se utvecklingen av energiandelen etanol i bensin under perioden i figur 8. ΔD gav också en liten minskade effekt på utsläppen då trafikarbetet ökade från 58,5 till 61,6 miljarder fkm samtidigt som antalet ökade från 4,0 till 4,2 miljoner bilar. Båda dessa förändringar var ca 5 % men ledde ändå till ett minskat ΔD , framförallt hos större bensinbilar. Även ΔF och ΔS gav upphov till en liten utsläppsminskning, då bensinbilar generellt respektive större dieslbilar minskade. En rest uppkom som gav en liten utsläppsökning. Denna rest kom från både bränsleteknologin etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin som hade otillräckliga data för att ingå i beräkningarna.

4.4. DEKOMPONERINGSANALYS 2005–2010

I dekomponeringsanalysen mellan åren 2005–2010 minskade utsläppen från 12,6 till 11,9 miljoner ton CO₂. Den största effekten till utvecklingen gavs av ΔD som stod för 42 % av effekternas absoluta summa. ΔD minskade utsläppen då trafikarbetet ökade från 61,6 till 62,7 miljarder fkm (ca 2 %) samtidigt som antalet bilar ökade ännu mer, från 4,2 till 4,4 miljoner bilar (ca 5 %). ΔD minskade framförallt för större bensinbilar. ΔS var en

bidragande effekt till utsläppsminskningen då andelen bensin- och dieslbilar med den största motorstorleken minskade med ca 6 respektive 15 %, se figur 5 och figur 6. ΔE gav också upphov till en utsläppsminskning då emissioner från bilar minskade, framförallt för bensinbilar som gick från 213 till 205 g CO₂ per fkm, se tabell 5. Även ΔR bidrog med en utsläppsminskning, främst på grund av inblandning av HVO/FAME hos dieslbilar, se utvecklingen av energiandelen HVO/FAME i diesel under perioden i figur 9. Den näst största effekten till utvecklingen gavs av ΔF som stod för 22 % av effekternas absoluta summa. ΔF ökade utsläppen då andelen diesel-, flexifuel- och gasbilar samt deras utsläpp ökade mer än vad bensinbilar och deras utsläpp minskade. ΔP ökade också utsläppen då befolkningen gick från 9,0 till 9,4 miljoner människor, vilket är en ökning med ca 4 %. ΔP stod för 15 % av effekternas absoluta summa. Även $\Delta(V/P)$ gav upphov till en liten utsläppsökning då bilägandet ökade något.

4.5. DEKOMPONERINGSANALYS 2010–2015

I dekomponeringsanalysen mellan åren 2010–2015 minskade utsläppen från 11,9 till 10,9 miljoner ton CO₂. Den största effekten till utvecklingen gavs av ΔD som stod för 35 % av effekternas absoluta summa. ΔD minskade utsläppen då trafikarbetet ökade från 62,7 till 65,2 miljarder fkm (ca 4 %) samtidigt som antalet bilar ökade ännu mer, från 4,4 till 4,7 miljoner bilar (ca 7 %). ΔD minskade framförallt för större bensinbilar men också för större dieslbilar. ΔS var en bidragande effekt till utsläppsminskningen då andelen bensin- och dieslbilar med den största motorstorleken minskade med ca 9 respektive 10 %, se figur 5 samt figur 6. Av samma effektstorlek som ΔS gav ΔE en utsläppsminskning då emissioner från bilar minskade, framförallt för dieslbilar som gick från 196 till 175 g CO₂ per fkm, se tabell 5. Även ΔR bidrog med en utsläppsminskning, främst på grund av inblandning av HVO/FAME hos dieslbilar, se utvecklingen av energiandelen HVO/FAME i diesel under perioden i figur 9. Den näst största effekten till utvecklingen gavs av ΔF som stod för 20 % av effekternas absoluta summa. ΔF ökade utsläppen då andelen dieslbilar och deras utsläpp ökade mer än vad bensinbilar och deras utsläpp minskade. ΔP ökade också utsläppen då befolkningen gick från 9,4 till 9,9 miljoner människor, vilket är en ökning med ca 5 %. ΔP stod för 12 % av effekternas absoluta summa. Även $\Delta(V/P)$ gav upphov till en liten utsläppsökning då bilägandet ökade från 0,46 till 0,48 bilar per capita.

I tabell 7(a) visas alla de summerade effekterna från dekomponeringsanalyserna mellan åren 1990–2015. Där framgår det att ΔD är den största effekten och stod för 35 % av effekternas absoluta summa. ΔD bidrog till en minskning av CO₂-utsläppen liksom effekterna ΔE , ΔR och ΔS . Det framgår också att ΔF är den näst största effekten och stod för 15 % av effekternas absoluta summa. ΔF bidrog till en ökning av CO₂-utsläppen liksom effekterna ΔP , $\Delta V/P$ och restposten. ΔP stod också för 15 % av effekternas absoluta summa, men var något mindre än ΔF . Sammanlagt ger dessa effekter och restpost under denna period en utsläppsminskning med ca 1,7 miljoner ton CO₂ eller 13 %, då utsläppen gick från ca 12,5 miljoner ton CO₂ år 1990 till ca 10,9 miljoner ton CO₂ år 2015.

5. DISKUSSION

Dekomponeringsanalyserna i detta examensarbete syftade till att kunna uppskatta storleken på några valda faktorerens enskilda inverkan till utsläppsutvecklingen inom personbilstrafiken. Detta innebär att enbart utsläpp i själva trafiken undersöktes. Utsläpp vid tillverkning av personbilar och transporter av bränsle finns därför inte medräknade, vilket skulle vara intressant ur ett helhetsperspektiv för framtida studier. Arbetet avgränsades till att enbart titta på CO₂-utsläpp och inte alla utsläpp av växthusgaser från personbilar. Det är viktigt att ha i åtanke att CO₂ bara utgör en del av alla växthusgaser när resultaten och diskussionen läses. Årtalen 1990–2015 valdes eftersom den mesta data kopplat till klimat fanns från år 1990 och av praktiska skäl valdes slutåret till 2015. Detta då fler bränsleteknologier implementerades i HBEFA efter år 2015 vilket skulle skapa problem i dekomponeringsanalysernas beräkningar. Dessutom ansågs det lättare att få några års perspektiv på utvecklingen för att kunna se olika faktorer påverkan. Det hade dock varit intressant att kunna se utsläppsutvecklingen för tidigare år då utsläpp av CO₂ från personbilar funnits långt tidigare än från år 1990.

5.1. METODVAL

Intresset för dekomponeringsanalys kom från att det använts av uppdragsgivaren Naturvårdsverket (2017) i en tidigare rapport och ansågs vara potentiell för fler områden. Andra metoder, såsom ekonometriska analyser, fanns det flertalet utförda studier på utsläppsutvecklingen inom flertalet sektorer i Sverige såsom Grafström (2009), Andersson (2017), Brännlund (2013) och Miljö- och energidepartementet (2017). Fördelen med en dekomponeringsanalys var att flera faktorer kan ingå i analysen och dessutom går det att särskilja deras effekter från varandra. De efterforskningarna som gjordes på området pekade på att det fanns flertalet studier som undersökte utsläppsutvecklingen med hjälp av dekomponeringsanalys, bland annat av ICF (2016) och i en sammanställning av Ang och Xu (2013). Från sammanställningen (Ang & Xu, 2013) hittades 15 studier gjorda inom transportsektorn och där bland annat Mediluce och Schipper (2011), Schipper et al. (2011) samt Papagiannaki och Diakoulaki (2009) utfört dekomponeringsanalyser inom persontrafiken i USA och Europa. Papagiannaki och Diakoulaki (2009) hade specifikt inriktat sig på personbilstrafiken och gjort en jämförande studie mellan EU-länderna Danmark och Grekland. Även Kwon (2005) hade genomfört en dekomponeringsanalys i Storbritannien inriktad på personbilstrafiken. Då de två sistnämnda studiernas utformning (Papagiannaki & Diakoulaki, 2009; Kwon, 2005) passade in för syftet av detta examensarbete kom de att vara vägledande för de utförda dekomponeringsanalyserna, framförallt studien av Papagiannaki och Diakoulaki (2009).

Det fanns flertalet dekomponeringsmetoder och LMDI valdes då den var den vanligaste använda metoden i en sammanställning av 80 studier mellan åren 1991–2012 (Ang & Xu, 2013). Den additiva formen av LMDI -I valdes baserat på rekommendation från litteratur (OECD & IEA, 2014, s. 131) samt att den användes av Naturvårdsverket (2017) och

Papagiannaki och Diakoulaki (2009). LMDI -I hade dock svårigheter med att hantera saknade värden, nollor och negativa tal då både kvoter och logaritmer ingick i beräkningarna. Detta innebar problem för de data som kategoriserade fordon i utsläppsklasser från HBEFA. Dessa innehöll många saknade värden då nya utsläppsklasser uppkommit allt eftersom med åren. En föreslagen lösning var att ersätta dessa saknade värden med ett litet positivt värde (Ang, 2005). I försök att göra detta ansågs resultaten i dekomponeringsanalysen vara missvisande, vilket ledde till att kategoriseringen av utsläppsklasser inte användes i de slutgiltiga dekomponeringsanalyserna. Metodens problem med att hantera nollor i dataset och den föreslagna lösningen nämns också av Papagiannaki och Diakoulaki (2009). Det framkommer dock inte om detta var ett problem i deras studie och om lösningen använts i deras dataset.

Tidsintervallet för de fem dekomponeringsanalyserna valdes till fem år vilket var samma spann som Papagiannaki och Diakoulaki (2009) använde i sin studie, vilket gav tre dekomponeringsanalyser som presenteras likt de stapeldiagram som detta arbete använder, se figur 12. Kwon (2005) använde sig av ett tidsintervall på tio år som gav tre dekomponeringsanalyser som också presenteras i stapeldiagram. Naturvårdsverket (2017) gjorde bara en dekomponeringsanalys mellan åren 2008–2015, det vill säga ett spann på sju år och presentationen av resultatet kan ses i figur 2. Det valda tidsintervallet om fem år i detta arbete ansågs ge en tillräcklig bild av faktorernas förändringar mellan intervallen, då de data som användes inte hade alltför stora variationer från år till år. Likväl kan en del förändringar leda till missvisande resultat då enbart data från vissa år används. Ett alternativt eller kompletterande sätt hade varit att presentera resultaten i multiplikativ istället för enbart additiv form, som Mendiluce och Schipper (2011), Schipper et al. (2011) och även Kwon (2005) gjorde i sina studier med tabeller och olika typer av grafer. Schipper et al (2011) presenterar sina resultat i tabellformat och radardiagram med varierande tidsintervaller på mellan tre, tio och arton år samt hela tidsperioden 1960–2008 vilket gav resultat för sex årtal i tabellformat med avseende på det valda referensåret 1990 och fem i radardiagrammet. Valet av årtalen och spannet mellan dem framkommer inte men kan troligtvis vara relaterad till bland annat oljekrisen år 1973 eftersom det årtalet fanns med trots att år 1970 också ingick. Mendiluce och Schipper (2011) presenterade sina resultat enbart i tabellformat och hade även de varierande tidsintervaller på åtta och tio år vilket gav resultat för två årtal med avseende på startåret 1990. Kwon (2005) presenterar sina resultat i den multiplikativ formen med ett vanligt linjediagram där med index på x-axeln och alla årtalen mellan 1970–2000 på y-axeln.

5.2. VALDA FAKTORER

Mendiluce och Schipper (2011), Schipper et al. (2011), Papagiannaki och Diakoulaki (2009), Kwon (2005) och Naturvårdsverket (2017) utgick alla från olika former av IPAT-ekvationer i sina studier, liksom detta arbete gjorde. Ekvationerna varierar mellan fyra och sex ingående faktorer och i detta arbete ingick sju faktorer. Naturvårdsverket (2017)

analyserade hela Sveriges ekonomi och Mendiluce och Schipper (2011) samt Schipper et al. (2011) analyserade hela transportsektorer medan Papagiannaki och Diakoulaki (2009) och Kwon (2005) analyserade enbart personbilstrafiken, liksom detta arbete gjorde. Även om omfattningen på de olika studerade områdena skiljde sig åt hade alla ovan nämnda studier liknande faktorer. Naturvårdsverket (2017), Mendiluce och Schipper (2011) samt Schipper et al. (2011) hade en faktor för strukturförändringar mellan olika sektorer respektive transportslag. Papagiannaki och Diakoulaki (2009) och Kwon (2005) hade också en faktor för strukturförändringar fast mellan olika bränsleteknologier. För att beskriva aktivitet använde sig Naturvårdsverket (2017) av en faktor för ekonomisk produktion medan resterande studier använde sig av faktorer relaterade till trafikarbete. Faktorer för utsläppsintensitet, det vill säga CO₂-utsläpp per aktivitet, ingick också i alla studier.

Faktorerna som ingick i dekomponeringsanalyserna i detta arbete var till stor del inspirerad av de faktorer som ingick i studien av Papagiannaki och Diakoulaki (2009). I deras studie ingick de sex faktorerna befolkning, bilar per capita, trafikarbete per bil samt andel bilar av olika bränsletyper, motorstorlekar och teknologi. Med de tillgängliga data som fanns för denna studie och för att inkludera en faktor för biobränslenas inblandning resulterade det i sju faktorer för att kunna komponera ihop ekvation (5). Dessa var befolkning (P), bilar per capita (V/P), trafikarbete per bil (D), emissioner (E), biobränsle (R) samt andel bilar av olika bränsleteknologier (F) och motorstorlekar (S). Faktorerna befolkning, bilar per capita, trafikarbete per bil samt andel bilar av olika bränsletyper och motorstorlekar motsvarade de som Papagiannaki och Diakoulaki (2009) använde i sin studie. I den ekvation som Papagiannaki och Diakoulaki (2009) grundade sina dekomponeringsanalyser på ingick även två konstanter, en för emissionsfaktor uttryckt i kg CO₂ per liter bränsle och en för specifik bränslekonsumtion för respektive teknologi uttryckt i liter bränsle per 100 km. Dessa tillsammans motsvarar faktorn emissioner (E) som ger g CO₂ per fkm i denna studie, men som till skillnad från konstanterna varierar från år till år.

Bilägareffekten $\Delta(V/P)$ visar förändringen av bilar per person i Sverige. BNP hade också kunnat ersätta V/P eller vara en kompletterande faktor för att visa välfärden då den hänger samman med hur många bilar som befolkningen har råd att äga. Naturvårdsverket (2017) använder sig av BNP i sin studie på hela Sveriges totala territoriella utsläppsutveckling, men detta är svårt att använda för personbilstrafiken då privatpersoner inte är producenter och därför inte genererar något produktionsvärde (Naturvårdsverket, 2017, s. 116). Ett annat alternativ som Schipper et al. (2011) gjorde var att med separata analyser jämföra BNP med persontrafiken. Separata jämförelser med BNP låg dock utanför ramen för detta arbete.

Trafikarbeteeffekten ΔD visar trafikarbete per bil men ett alternativ hade varit att visa trafikarbete med personbil per person, vilket Kwon (2005) gör i sin studie. Resultatet från Kwon (2005) visar att pkm med personbil per capita är den faktor som haft störst påverkan på utsläppsökningen i Storbritannien mellan åren 1970–2000. Även faktorn bilanvändning angivet i fkm per pkm bidrog till en ökning. Enligt Kwon (2005) visar pkm

per capita och bilanvändningen tillsammans att befolkningen i landet reser längre sträckor och att bilarna inte är lika fullsatta jämfört med tidigare år. Detta gav en bättre bild för hur mycket befolkningen använder och transporterar sig med personbil än vad faktorn trafikarbete per bil gav i denna studie, då antalet bilar ökade mer än trafikarbetet gjorde under hela tidsperioden 1990–2015. I resultaten kan detta uppfattas som att bilarna kör mindre när det egentligen beror på att trafikarbetet fördelas mellan fler bilar. Även Mendiluce och Schipper (2011) och Schipper et al. (2011) använder sig av faktorn pkm för att visa hur mycket befolkningen transporterar inom hela persontrafiken. Båda studierna visade att det ökande antalet pkm gett den största effekten till utsläppsökningarna i Spanien och USA mellan åren 1990–2008 respektive 1960–2008.

Struktureffekterna ΔF och ΔS hade med fördel kunnat omfatta fler kategorier än de bränsleteknologier och motorstorlekar som HBEFA gav, då exempelvis laddhybrider, elbilar och fler motorstorlekar är intressanta vid utsläppsstudier. Det hade även varit betydelsefullt att ha en faktor för att visa struktureffekter för övergång till andra transportsätt än personbil såsom kollektivtrafik, cykel och gång. Effekten av övergången till dessa transportsätt skulle vara intressant att se då dessa transporter troligen skulle kunna visa en minskad effekt på utsläppsutvecklingen. Denna förväntan grundar sig på att kollektivtrafik, cykel och gång ger mindre eller inga utsläpp överhuvudtaget jämfört med personbilar.

Efter önskemål från uppdragsgivaren tillkom biobränslefaktorn R för att kunna visa minskningen av fossila bränslen och ökningen av de biobaserade. R tillsammans med emissionsfaktor E ger de egentliga emissionerna som Trafikverket beräknat, som ses i tabell 5. Data för faktor E kommer från det fossila scenariot.

5.3. DATAKÄLLOR

Det finns olika sätt att beräkna utsläpp av växthusgaser. Utsläppen inom transportsektorn som rapporteras in till FN:s klimatkonvention och EU-kommissionen avser enbart de utsläpp som är av fossilt ursprung. Det är dessa utsläpp som dekomponeringsanalyserna baseras på. I verkligheten ger även biobaserade bränslen upphov till CO₂-utsläpp, vilket till viss del var medräknat i utsläppsresultaten från emissionsmodellen HBEFA. Eftersom HBEFA inte tar hänsyn till de årligt skiftande blandningarna av bränslekomponenter inom varje bränsleteknologi gick det inte att använda dessa resultat innan korrigering, vilket inte gjordes i detta examensarbete. Hade mer tid funnits hade det varit intressant att kunna jämföra dessa beräkningar av utsläpp och utföra två jämförande dekomponeringsanalyser för att se utfallen av resultaten. HBEFA hade data för trafikarbete, bilantal samt CO₂-utsläpp och bränsleförbrukning men det var enbart data för indelningen av bilar och trafikarbete som användes i dekomponeringsanalyserna. Indelningen av bilar grundade sig på register, olika mätningar och undersökningar. En del av bristerna hos modellen var att det fanns bara fyra bränsleteknologier i modellen: bensin, diesel, etanol/bensin (E85) och naturgas/biogas. I verkligheten finns fler bränsleteknologier, som exempelvis laddhybrider och elbilar men dessa var under tidsperioden 1990–2015 inte implementerade i HBEFA. Motorstorlek på bilar fanns bara

i tre kategorier och endast för bensin- och dieslbilar. Flexifuel- och gasbilar hade också olika storlekar på motorerna men detta saknade modellen. Flexifuel- och gasbilar stod dock bara för en liten del av hela fordonsflottan, vilken var som störst mellan åren 2010–2015 då teknologierna utgjorde 5 respektive 1 % av alla bilar.

Trafikverkets kompletterande beräkningar av utsläpp hade Trafikverket gjort med hjälp av bränsleförbrukningen från HBEFA och dessa byggde på antaganden för alla bränslen utom E85. Därtill kom även en restpost. Osäkerheten i uppskattningen av bränsleteknologiernas utsläpp inom personbilstrafiken undersöktes dock inte vidare i detta examensarbete. I figur 11 finns fördelningen av energin mellan de olika bränslekomponenterna i bränsleteknologin naturgas/bensin. Det fanns data från Trafikverket år 1995 och därefter uteblev data fram till år 1999. Gasbilar implementerades i HBEFA först år 2005 och det framkom aldrig hur bränsleleveranserna fördelades innan dess. Även det faktum att bensin bara utgör en andel inom bränsleteknologin år 2014 och 2015 är oklart.

För att kunna visa effekten av biobränslets inblandning skapades ett fossilt scenario under perioden 1990–2015. Det fossila scenariot förutsatte att bensin ersatt etanol, diesel ersatt HVO/FAME och naturgas ersatt biogas samt att energimängderna under alla åren varit densamma.

5.4. RESULTAT

En viktig sak att ha i åtanke vid granskning av resultaten är att även om det finns större förändringar i data från en av bränsleteknologierna jämfört med en annan, måste hänsyn tas till antalet personbilar inom teknologin. Exempelvis är antalet bensinbilar och på senare år även dieslbilar så pass mycket större att små förändringar hos dessa teknologier har större effekter än stora förändringar hos bränsleteknologier med ett mindre antal bilar. Bensinbilar och dieslbilar har under perioden 1990–2015 stått tillsammans för 96–100 % av hela fordonsflottan, se fördelningarna i tabell 3.

Resultatet visar att utsläppen har minskat med 1,7 miljoner ton CO₂ år 2015 jämfört med år 1990. Det är en minskning med 13 %. De fem dekomponeringsanalysernas summering visar att effekten av trafikarbete per bil, ΔD , gav det i särklass största bidraget till en minskning av CO₂-utsläppen mellan åren 1990–2015. ΔD stod för 35 % av effekternas absoluta summa mellan 1990–2015. Detta beror på att antalet fkm per bil minskade då antalet bilar ökade mer än vad trafikarbetet gjorde under perioden. Trafikarbetet ökade totalt från 55,7 till 65,2 miljarder fkm, det vill säga med 17 %, samtidigt som antalet bilar ökade ännu mer, från 3,6 till 4,7 miljoner, det vill säga med 31 %. Det ger en minskning på 10 % av antalet fkm per bil. Dessa minskningar var som störst årtalen 1995–2000, 2005–2010 och 2010–2015 och då var det framförallt bland större bensinbilar som minskningarna skedde men också för större dieslbilar under sista perioden. Det är svårt att koppla denna utveckling till något särskilt styrmedel eller åtgärd som behandlats tidigare i rapporten. Det kan dock konstateras att bil per capita ökat vilket innebär att svenskarna äger fler bilar år 2015 jämfört med år 1990. Befolkningen ökade med 15 %

under perioden vilket är i nivå med trafikarbetet som ökade med 17 %. Det innebär att varje person äger fler bilar men kör inte desto mer än för 25 år sedan. Som ovan nämnt hade ett alternativ till trafikarbete per bil varit att använda sig av trafikarbete med personbil per person, då det skulle spegla befolkningens personbilsanvändning bättre.

Emissionseffekten ΔE kommer på en andraplats vad gäller minskningen av utsläppen under åren 1990–2015 med 11 % av effekternas absoluta summa. Endast under åren 2000–2005 bidrog effekten till en ökning som kom från dieslbilar, se tabell 5. Orsaken till ökningen är svårbedömd då värdena går från 172 till 198 g CO₂ per fkm, det vill säga en ökning med 15 %. Inte heller skedde några större förändringar bland andelarna av dieslbilarnas motorstorlekar. Deselemissionerna svänger mycket från år till år, vilket kan ses i tabell 5. Även bland bränsleteknologierna etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin ses anmärkningsvärda svängningar och värden på emissioner. Det finns dock osäkerheter i beräkningarna då emissionerna är medelvärden av kvoten mellan det fossila scenariots utsläpp och HBEFA:s trafikarbete. Tabell 5 visar att under övriga år skedde en minskning av emissioner per fkm vilket innebär att mindre CO₂ släpptes ut och det beror bland annat på att bilarna blev mer energieffektiva, framförallt bensinbilar. Det hänger rimligen samman med de utsläppskrav som EU ställer på nyttillverkade bilar. Under åren 2005–2010 kan även det stigande priset på olja varit bidragande till en ökad efterfrågan på energieffektiva bilar. Andra faktorer som påverkar ΔE är chaufförens körsätt, vilket i sin tur beror på hur nyblivna körkortsinnehavare har blivit upplärda, hastighetsbegränsningar och hur vägarna i samhället utvecklats. Även väderförhållanden påverkar emissionernas storlek med upp till 25 % både vid både varmt och kallt väder (EPA, u. å.a; EPA, u. å.b). I Sverige varierar temperatur och väder mycket under året och mellan år.

På tredjeplats av utsläppsminskningarna kommer biobränsleeffekten ΔR med 7 % av effekternas absoluta summa. Denna visar att inblandningen av biobränslen gett enbart utsläppsminskningar sedan det började användas och blandas in i andra bränslen. De största utsläppsminskningarna gavs mellan åren 2000–2005 och 2010–2015. Varför det var mindre under åren 2005–2010 kan delvis hänga ihop med den kritik som E85 fick under dessa år. Även de ständiga förändringarna kring lagstiftningen om biobränsle kan ha påverkat producenter och leverantörer att vara försiktigare med satsning på biobränsle. Pumplagens (SFS 2005:1248) införande år 2006 kan eventuellt kopplas till de minskningar av utsläpp som ΔR gav åren 2010–2015. Även de styrmedel som gynnade bilar med lägre CO₂-utsläpp från år 2007 och framåt bör kunna kopplas till dessa minskningar.

Struktureffekt av motorstorlek ΔS följer efter ΔR i minskningen av utsläppsutvecklingen mellan åren 1990–2015 med 5 % av effekternas absoluta summa. Denna effekt gäller enbart för diesel- och bensinbilar. En ökande effekt kunde ses åren 1990–2000 för att därefter ge minskande effekter, framförallt mellan åren 2005–2015. Under åren 1990–2000 var det ökningen av andelen bensinbilar med den största motorstorleken som bidrog till ökningen. Under åren 2005–2015 minskade denna andel hos både bensin och dieslbilar och då också effekten. De visar att en övergång skett från bilar med större

motor till bilar med mindre motor. Som för ΔR är det förmodligen de styrmedel som gynnade bilar med lägre CO₂-utsläpp från år 2007 och framåt som påverkat utvecklingen.

Vidare visar summeringen att struktureffekt av bränsleteknologi ΔF gav det största bidraget till en ökning av CO₂-utsläppen mellan åren 1990–2015 med 15 % av effekternas absoluta summa. Framförallt gav ΔF ökning mellan åren 2005–2010 och 2010–2015 då de stod för 22 respektive 22 % av effekternas absoluta summa. Detta beror på att andelen dieslbilar och deras utsläpp ökade mer än vad andelen bensinbilar och deras utsläpp minskade under perioden. Att andelen dieslbilar i fordonsflottan ökade under perioden stämmer överens med att det under denna tid tillkom bilpremier och skattelättnader som gynnade införskaffandet av dieselbil. Dieslbilarna är dessutom mer bränslesnåla än bensinbilarna, vilket lett till att det varit billigare att köra dieslbilar än bensinbilar och flexifuelbilar, se figur 4 där energipris i kr per kWh jämförs. Att deras utsläpp ökade hänger ihop med att de utgör en större andel av trafikarbetet per bil än vad bensinbilar gör, se tabell 3. Detta gjorde att utsläppen från den ökande andelen dieslbilar (27 procentenheter) var större än de utsläpp som minskade då andelen bensinbilar minskade (32 procentenheter) under perioden 1990–2015 trots att dieslbilarna hade lägre emissioner och hade färre förändrade procentenheter jämfört med bensinbilarna. Övriga bränsleteknologiers förändringar av bilantal var så små i jämförelse att det inte påverkade ΔF desto mer. Dessutom har trafikarbetet ökat i storlek med 17 % år 2015 jämfört med 1990. Mellan åren 1990–2005 stod ΔF för mellan 1–4 % av effekternas absoluta summa och minskade till och med utsläppsutvecklingen 1990–1995 och 2000–2005. Detta beror på att andelarna för varje bränsleteknologi var mer eller mindre konstanta under denna period då bensinbilar dominerade, se tabell 3.

På en marginell andra plats för ökning av CO₂-utsläppen kom befolkningseffekten ΔP då Sveriges befolkning ökade varje år från 8,6 till 9,9 miljoner människor mellan åren 1990–2015. Därför gav ΔP enbart utsläppsökningar och stod för 15 % av effekternas absoluta summa. $\Delta(V/P)$ stod för det tredje största bidraget till en utsläppsökning med 13 % av effekternas absoluta summa, då antalet bilar per person ökade från 0,42 till 0,48 bilar per capita under perioden. Endast mellan åren 1990–1995 gav $\Delta(V/P)$ en minskning vilket berodde på att befolkningen ökade samtidigt som bilantalet var relativt oförändrat. Detta kan ha varit en effekt av den kombinerade bank-, finans och fastighetskris som inträffade i Sverige i början av 1990-talet och kan ha påverkat befolkningen att prioritera bort bilköp under perioden. Även i analysen mellan åren 2005–2010 är V/P som minst till storleken i förhållande till de andra analyserna, vilket kan ha påverkats av den globala finanskrisen år 2008.

5.4.1. Jämförelse tidigare studier

En jämförelse med Naturvårdsverkets (2017, s. 19) rapport är svår då olika områden analyseras, dock är dessa inom samma land och omfattar samma tidsperioder. Dessutom ingår personbilstrafiken i hela Sveriges totala territoriella utsläppsutveckling som Naturvårdsverket (2017) analyserar. Dekomponeringsanalysen omfattade åren 2008–2015 och visade att utsläppen minskade med 15 %. Resultaten presenterades med fem faktorer, det vill säga två färre än detta arbete. Den största effekten till

utsläppsminskningen övergången från fossila bränslen till biobränslen som stod för nästan hälften av effekternas absoluta summa. Övergången kommer från fler sektorer än transportsektorn, bland annat ökade biobränsleanvändningen inom el- och fjärrvärme under tidsperioden med ca 18 % (Naturvårdsverket, 2017, s. 43). I dekomponeringsanalyserna mellan åren 2005–2010 och 2010–2015 från detta examensarbete, som bara berörde personbilstrafiken, har biobränslen (ΔR) bidragit till minskade utsläpp och stod för 3 respektive 8 % av effekternas absoluta summa. I Naturvårdsverkets (2017) dekomponeringsanalys var den näst största effekten ekonomisk tillväxt vilket gav en utsläppsökning mellan åren 2008–2015 och stod för ungefär en femtedel av effekternas absoluta summa. Motsvarande faktor saknas i detta examensarbete men skulle möjligen kunna representeras av bil per person (V/P) som också gav ökande effekterna på utsläppsökningen åren 2005–2010 och 2010–2015 och stod för 2 respektive 7 % av effekternas absoluta summa. De resterande faktorer fördelning mellan industri- och tjänstesektor, energianvändning och direkta utsläpp från personbilar i Naturvårdsverket (2017) minskade alla utsläppen och stod för ungefär en tredjedel av effekternas absoluta summa. Både energianvändning och direkta utsläpp från personbilar är inbakade i emissionsfaktorn E i detta arbete. I dekomponeringsanalyserna från åren 2005–2010 och 2010–2015 så minskade den faktorn utsläppen och stod för 3 respektive 10 % av effekternas absoluta summa.

Trenden för växthusgasutsläppen inom vägtrafiken i EU och USA har sett liknande ut som de i Sverige mellan åren 1990–2014. I figur 1 ses hur utsläppen har haft en ökande trend fram till år 2007 men därefter varit minskande fram till 2014 då den i USA och EU återigen ökade till skillnad från Sverige där den fortsatte minska. Studierna av Mendiluce och Schipper (2011), Schipper et al. (2011), Papagiannaki och Diakoulaki (2009) och Kwon har utförts i USA, Spanien, Danmark, Grekland och Storbritannien mellan varierade årtal som sträcker sig mellan år 1960–2008.

Mendiluce och Schipper (2011) och Schipper et al. (2011) använder sig av den multiplikativa formen av LMDI-I i presentationen av sina resultat vilket gör att dessa inte direkt går att jämföra med denna studie som presenterar resultatet i additiv form. Däremot kan värdena från resultaten i båda studierna jämföras med varandra. Mendiluce och Schipper (2011) och Schipper et al. (2011) genomförde dekomponeringsanalyser på persontrafiken i Spanien respektive USA mellan åren 1990–2008 samt 1960–2008. Båda studierna visade att växthusgasutsläppen i Spanien och USA ökat med 76 respektive 26 % år 2008 jämfört med år 1990. Båda studierna kom fram till att det ökande antalet pkm gav den största effekten till den ökade utsläppsutvecklingen för persontrafiken som bidragit med en faktor på 81 respektive 49 %. Övergång till andra transportsätt bidrog också i Mendiluce och Schipper (2011) till en utsläppsökning med en faktor på 5 % medan den i Schipper et al. (2011) minskade utvecklingen med en faktor på 1 % sedan år 1990. Pkm och övergång till andra transportsätt kan inte direkt relateras med någon faktor i detta arbete. Det kan konstateras att trafikarbetet för personbilar i Sverige marginellt har ökat mer än vad befolkningen gjort procentuellt, 17 respektive 15 %, mellan åren 1990–2015. Detta säger dock inget om pkm då data för trafikarbete inte säger något om hur många som färdas i fordonet. Mendiluce och Schipper (2011) och Schipper et al. (2011)

visade båda att energikonsumtion per pkm bidragit till en minskning av utsläppen år 2008 med en faktor på 7 respektive 11 % sedan år 1990. Denna kan möjligtvis relateras till faktorn för emissioner (E) i detta arbete som visar emissioner per fkm där energikonsumtionen per fkm är inbakad i faktorn. ΔE minskade också utsläppen i detta arbete sett över tidsperioden 1990–2010 och stod under den tidsperioden för mellan 3–22 % av effekternas absoluta summa. Schipper et al. (2011) hade även faktorer för fordonsanvändning och bränslemix i sin studie. Fordonsanvändning som minskade utsläppen med en faktor på 5 % år 2008 jämfört med år 1990 går möjligtvis att relatera till bil per capita (V/P) men den visar dock enbart hur många bilar varje äger och inte hur mycket den används. I denna studie gav V/P också en ökning till utvecklingen sett över tidsperioden 1990–2010 och stod för mellan 2–35 % av effekternas absoluta summa. Faktorn bränslemix i Schipper et al. (2011) ökade utsläppen med en faktor på 2 % år 2008 jämfört med år 1990 som möjligtvis kan relateras till faktorn för emissioner (E) och för biobränslen (R) i detta arbete. Dessa båda minskade dock utsläppsutvecklingen sammanlagt under tidsperioden 1990–2010 och stod under den tidsperioden för mellan 3–22 % respektive 0–27 H% av effekternas absoluta summa.

Papagiannaki och Diakoulaki (2009) gjorde en studie mer liknande detta arbete. Förutom att några faktorer skiljde sig och att andra länder studerades under åren 1990–2005 var dekomponeringsanalyserna likartade. Vid jämförelse måste ändå hänsyn tas till flera faktorer såsom ländernas befolkningsmängd, BNP och infrastruktur. Förhållandet mellan de olika faktorerna är däremot intressant att studera, men det bör finnas i åtanke att lagstiftning och olika händelser i länderna påverkar effekterna. Resultaten för Grekland visade på ökade utsläpp under hela perioden där antal bilar per capita var den faktor som gav den största effekten till utsläppsökningen i landet för alla tre dekomponeringsanalyser. Även i detta examensarbete gav antal bilar per capita ($\Delta(V/P)$) utsläppsökningar för alla år utom mellan åren 1990–1995. Summerat över hela perioden 1990–2005 var $\Delta(V/P)$ även i Sverige den största effekten till den ökande utsläppsutvecklingen och stod för mellan 26–35 % av effekternas absoluta summa. Även samma resultat sågs för Danmark för hela perioden 1990–2005. Däremot var bil per capita endast den största effekten under åren 1995–2000. Trafikarbete per bil var största effekten under åren 1990–1995, då effekten bidrog till en minskning av utsläppen vilket den också gjorde mellan åren 1995–2000. Under åren 2000–2005 var den återigen störst men bidrog då med en ökning. Dekomponeringsanalyserna under perioden 1990–2005 i detta examensarbete var i motsats till resultaten i Danmark. Dessa visade att trafikarbete per bil (ΔD) var en av de mindre ökande effekterna åren 1990–1995 och för mellan 8 % av effekternas absoluta summa. Åren efter det gav ΔD enbart minskande effekter och för mellan 6–42 % av effekternas absoluta summa. Som minst var ΔD åren 2000–2005.

Även Kwon (2005) gjorde en studie mer liknande detta arbete i Storbritannien mellan åren 1970–2000. Resultaten mellan åren 1990–2000 visade att CO_2 -utsläppen ökat med 7,6 % där bilanvändandet och pkm med personbil per capita stod för varsin ökande tredjedel av effekternas absoluta summa. Liksom i studierna från Mendiluce och Schipper (2011) och Schipper et al. (2011) finns det ingen motsvarande faktor i denna studie. Vidare visade resultatet från Kwon (2005) att bränslekonsumtionens effekt minskade

utvecklingen, som stod för en femtedel av effekternas absoluta summa. Denna faktor kan också som jämförelsen ovan med Mendiluce och Schipper (2011) och Schipper et al. (2011) möjligtvis relateras till faktorn för emissioner (E) i detta arbete där den är inbakad som under tidsperioden 1990–2000 bidrog till en minskande utsläppsutveckling. E stod för 14 respektive 22 % av effekternas absoluta summa i dekomponeringsanalyserna mellan åren 1990–1995 och 1995–2000. Resterande del på ca 10 % av alla effekter i Kwon (2005) mellan åren 1990–2000 kom från faktorerna befolkning, fördelningen av fkm mellan bilar av olika bränsletyper och CO₂-utsläppen från bränslena. Befolkning bidrog till ökade utsläpp, precis som det även gjorde i alla analyser i denna studie där den under åren 1990–1995 och 1995–2000 stod för 28 respektive 2 % av effekternas absoluta summa. Fördelningen av fkm mellan bilar av olika bränsletyper bidrog i Kwon (2005) till en minskade utsläpp mellan 1990–2000 medan det i denna studie maginellt ökade utsläppen sammanlagt under samma tidsperiod.

5.5. OSÄKERHETER

Detta examensarbete grundar sig på dekomponeringsanalyser som är en förenkling av verkligheten med flertalet antaganden. De faktorer med tillhörande data som används är utvalda och är i sig grundade på flera antaganden och förenklingar. De osäkerheter som fanns i Trafikverkets beräkningar och i data från HBEFA undersöktes inte vidare i detta examensarbete. De osäkerheter som uppkom vid beräkning av dekomponeringsanalyserna i detta arbete består i det fossila scenariot, emissionsvärden i faktor E och den restpost som uppkom i resultaten.

Det var efter en förfrågan från uppdragsgivaren att kunna visa effekten av biobränslets inblandning som ett fossilt scenario skapades under perioden 1990–2015. Det bör understrykas att scenariot enbart är ett tänkt utfall. Det antogs där att bensin ersatt etanol, diesel ersatt HVO/FAME och naturgas ersatt biogas samt att energimängderna under alla åren varit densamma. Data för faktorn för emissioner (E) kommer från det fossila scenariot, vilket egentligen bara är ett tänkt utfall. I själva verket hade det varit bättre att försöka undvika ett scenario då det skapar osäkerheter i tolkningen av resultaten. Hade en dekomponeringsanalys istället utförts på utvecklingen av energikonsumtion inom personbilstrafiken hade den fossila och biobaserade energin kunnat separeras utan inblandning av ett scenario. En annan viktig sak att belysa är att faktor E beräknades som medelvärden av kvoten mellan det fossila scenariots utsläpp och HBEFA:s trafikarbete. Därför innehåller värdena för emissionerna många osäkerheter. I tabell 5 kan ses hur värdena har stora variationer från år till år, vilket känns misstänksamt. Fordonsflottan förnyas årligen och de tillkomna nytilverkad bilarna har oftast längre utsläpp per fkm än tidigare årsmodeller samtidigt som äldre fordon med höga utsläpp per fkm utgår. En ökad fördelning av bilar med större motorstorlekar i fordonsflottan kan däremot öka utsläppen per fkm, men som dekomponeringsanalyserna visar så visar strukturfaktorn för motorstorlek (S) att bensin- och dieslbilar går mot motorer med mindre storlek och utsläpp per fkm sedan år 2000.

Utsläppsresten som uppkom i dekomponeringsanalysen mellan åren 1990–1995, 1995–2000 och 2000–2005 från bränsleteknologierna etanol/bensin (E85) och naturgas/bensin berodde på att otillräckliga data fanns tillgängligt från både HBEFA (Yahya, 2018–2019) och Trafikverkets beräkningar (Johansson, 2019). Detta ledde också till att dekomponeringsanalyserna är beräknade utifrån två olika ekvationer där varken etanol/bensin (E85) eller naturgas/bensin ingår i beräkningar mellan åren 1990–2005. Restposten mellan åren 2000–2005 hade kunnat minimeras om en dekomponeringsanalys även gjorts mellan åren 2003–2005 med den andra ekvationen som inkluderade etanol/bensin (E85) eller naturgas/bensin. Detta prioriterades dock bort då det fanns en vetskap om varifrån upphovet till restposten kom ifrån och att den redan var liten. Restposten presenteras dock i resultatet för att inte underskatta utsläppsökningarna. Orsaken till restposten beror delvis på de oklarheter kring data som återfinns i figur 11 över fördelningen av energin mellan de olika bränslekomponenterna i bränsleteknologin naturgas/bensin. I den figuren finns det data från Trafikverket år 1995 och därefter uteblir data fram till år 1999. Gasbilar implementerades i HBEFA först år 2005 och det framkom aldrig hur bränsleleveranserna fördelades innan dess. Även det faktum att bensin bara utgör en andel inom bränsleteknologin år 2014 och 2015 och inte tidigare år är oklart.

6. SLUTSATS

Sveriges CO₂-utsläpp inom personbilstrafiken år 2015 minskade jämfört med år 1990 med 1,7 miljoner ton CO₂ vilket motsvarar 13 %. Klimatmålet år 2030 är att hela vägtrafiken ska minska sina växthusgaser med 70 % jämfört med år 2010 och att år 2045 uppnå territoriella nettonollutsläpp. Fem additiva LMDI -I dekomponeringsanalyser genomfördes mellan åren 1990–2015 med faktorerna befolkning, bil per capita, bränsleteknologier, motorstorlekar, trafikarbete per bil, emissioner och biobränsle. Data till analyserna kom från emissionsmodellen HBEFA, Trafikverkets beräkningar och SCB. Utifrån de genomförda dekomponeringsanalyserna kan det sammanfattningsvis sägas att alla faktorer påverkat utsläpputvecklingen både genom att minska och öka den. Sett över hela tidsperioden 1990–2015 hade faktorerna påverkat utvecklingen mest i storleksordningen trafikarbete per bil (35 %), fördelning av bränsleteknologier (15 %), befolkning (15 %), bil per capita (13 %), emissioner (11 %), biobränsle (7 %), fördelning av motorstorlekar (5 %) samt en rest (1 %). Procenten inom parentes anger andelen som faktorn utgjorde av effekternas absoluta summa. Trafikarbete per bil, emissioner, biobränsle och fördelning av motorstorlekar gav sammanlagt under hela tidsperioden 1990–2015 effekter som minskade utsläppen medan fördelning av bränsleteknologier, befolkning, bil per capita och resten gav effekter som ökade utsläppen. Trenden för vägtrafikens utsläppsutveckling av CO₂ i USA och hela EU har varit liknande den i Sverige mellan åren 1990–2014. I jämförelse med andra studier i andra länder under åren 1990–2008 har både liknande resultat framkommit men ibland även de motsatta. I vissa fall har det inte gått att göra jämförelser då både faktorer och presentationsmetod skiljt sig åt.

Den stora minskade effekt trafikarbete per bil har beror på att antalet bilar ökat mer än trafikarbete har (31 % jämfört med 17 %). Fördelningen av bränsleteknologier har ökat utsläppen då dieslbilar och deras utsläpp ökat mer än vad bensinbilar och deras utsläpp minskat. Det hänger samman med att dieslbilar utgör en större del av trafikarbetet som i sig ökat med 17 % sedan år 1990. De andra bränsleteknologierna är så små i jämförelse att de inte påverkar resultaten i det stora hela. Det har hela tiden skett en befolkningstillväxt som gett utsläppsökningar. Bil per capita har ökat utsläppen då befolkningen äger fler bilar, vilket troligtvis hänger samman med BNP som ökat. Under två ekonomiska kriserna har bil per capita gett minskade utsläpp eller varit mindre i storlek. Emissioner har minskat utsläppen då fordonsflottan förnyas med bilar med lägre utsläpp av CO₂ per fkm, i enlighet med EU:s miljökrav. Inbladningen av biobränsle har bara bidragit till utsläppsminskningar sedan det infördes kring år 2000. Effekten var liten mellan åren 2005–2010 vilket troligtvis beror på dåligt rykte kring E85 och krånglig lagstiftning. Fördelning av motorstorlekar har gett minskade utsläpp, framförallt åren 2005–2015 vilket innebär att fler bilar med mindre motorer kommit in i fordonsflottan. Detta kan troligtvis höra samman med de bilpremier och förmåner som dessa bilar omfattats av. Restposten tillkom då otillräckliga data förekom i vissa av analyserna.

Resultaten från dekomponeringsanalyserna bygger på antagen och förenklingar men kan användas som en indikation på faktorernas inverkan på utsläppsutvecklingen och inom

vilka områden åtgärder bör vidtas för att nå de uppsatta klimatmålen. Trafikarbete per bil är dock ett bristfälligt mått att använda för att hitta verktyg att minska utsläpp på då en minskande effekt inte behöver innebära att bilar kör mindre, utan kan som i detta fall bara ha fördelat trafikarbete mellan flera bilar. Det är snarare bättre att fokusera på åtgärder som minskar trafikarbete med personbil per person. Det skulle kunna göras med incitament för att välja transportsätt som gång, cykel och kollektivtrafik istället för bil. Även att de bilar som körs är fullsatta skulle minska denna faktor. Fördelningen av bränsleteknologier och motorstorlekarna i fordonsparken bör innehålla mer bilar med lägre utsläpp, såsom bilar med mindre motor samt laddhybrid, el- och flexifuelbil. Dieslbilar är också energisnåla men har dessvärre andra nackdelar i form av folkhälsoproblem vid större utsläpp av NO_x och partiklar. EU kan öka sina miljökrav och fler incitament för denna typ av bilar kan styra fordonsflottan i denna riktning. Mer inblandning av biobränsle kommer också sänka utsläppen förutsatt att framställning och transport sker på ett hållbart sätt. Det gäller även att exempelvis flexifuelbilar också tankas med E85 istället för bensin för att denna faktor ska få rätt effekt.

Detta examensarbete visar att dekomponeringsanalys är en potentiell metod för utsläppsstudier då det går att särskilja olika faktorer påverkan på utsläppsutvecklingen. Resultaten kan användas som verktyg för beslutsfattare då resultaten ger en indikation om var resurser ska prioriteras för att styra utsläppsutvecklingen mot de uppsatta målen för att då uppnå dessa. Fler och andra faktorer, andra data samt andra dekomponeringsmetoder skulle vara intressant att utföra inom personbilstrafiken och andra områden på både fossila och biogena CO₂-utsläpp och energikonsumtion i framtida studier. För framtida studier som vill bygga vidare på detta examensarbete föreslås det att används sig av trafikarbete per person istället för trafikarbete per bil. Det skulle också vara bra att kunna inkludera fler bränsleteknologier och motorstorlekar. Ett annat förslag är att införa en faktor för strukturförändringar mellan olika transportsätt såsom gång, cykel och kollektivtrafik. Även att inkludera BNP skulle vara intressant. Vid presentation av resultat skulle det med fördel användas både den multiplikativa och den additiva formen av LMDI-I.

REFERENSER

Andersson, J., (2017). *Cars, carbon taxes and CO2 emissions*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment (GRI Working Papers 212), The Centre for Climate Change Economics and Policy (CCCEP Working Paper 238).

Ang, B.W., (2004). "Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?". *Energy Policy*, vol. 32(9), ss. 1131–1139.

Ang, B.W., (2005). "The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide". *Energy Policy*, vol. 33(7), ss. 867–871.

Ang, B.W., (2015). "LMDI decomposition approach: A guide for implementation", *Energy Policy*, vol. 86(11), ss. 233–238.

Ang, B.W. & Xu, X.Y., (2013). "Index decomposition analysis applied to CO2 emission studies", *Ecological Economics*, vol. 93, ss. 313–329.

Brännlund, R., (2013). *The effects on energy saving from taxes on motor fuels: The Swedish case*. CERRE - the Center for Environmental and Resource Economics (CERRE Working Papers 2013:6).

Eklund, V., (2014). Fördelning av bränslen inom transportsektorn. SMED (Avtal NV-2250-14-004).

Energigas Sverige, (2018). *Vägtransporter*. Tillgänglig: <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/saa-haer-anvaends-gas-i-sverige/vaegtransporter/> [2019-03-06]

Energigas Sverige, (2019). *Vad är energiinnehållet i naturgas, biogas och fordonsgas?* Tillgänglig: <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/faq-om-fordonsgas-och-gasbilar/vad-aer-energiinnehaallet-i-fordonsgas/> [2019-03-06]

Energimyndigheten, (2015). *Statsstöd för biodrivmedel*. Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/statsstod-for-biodrivmedel/> [2019-01-18]

Energimyndigheten, (2016). *Marknaden för biodrivmedel 2016*. Energimyndigheten (ER 2016:29), s. 86.

Energimyndigheten, (2017a). *Värmevärden och emissionsfaktorer*. Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/statistik/branslen/varmevarden-och-emissionsfaktorer1/> [2019-03-05]

Energimyndigheten, (2017b). *Energiindikatorer 2017: Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål*. Energimyndigheten (ER 2017:09), s. 34.

Energimyndigheten, (2018). *Drivmedel 2017 redovisning av uppgifter enligt drivmedelslagen och hållbarhetslagen*. Energimyndigheten (ER 2018:17), s. 25.

Fröberg, J., (2014). "Det är bättre att tanka bensin". SvD Näringsliv, 29 april. Tillgänglig: <https://www.svd.se/det-ar-battre-att-tank-a-bensin> [2019-01-18]

- Grafström, J., (2009). *The Effect of the Swedish Carbon Dioxide Tax*. Luleå University of Technology. Dept. of Business Admin. and Social Sci. (Master Thesis 2010:001)
- Hausberger, S. & Matzer C., (2017). *Update of Emission Factors for EURO 4, EURO 5 and EURO 6 Diesel Passenger Cars for the HBEFA Version 3.3*. Graz University of Technology. Inst. for internal combustion engines and thermodynamics (Report No. I-09/17/ CM EM 16/26/679), ss. 6, 9.
- ICF International, (2016). *Decomposition analysis of the changes in GHG emissions in the EU and Member States*. London: ICF International.
- INFRAS, (u. å.). *HBEFA introduction*. Tillgänglig: <http://www.hbefa.net/e/index.html> [2019-01-09]
- IVL Svenska Miljöinstitutet, (2017). *HBEFA-modellering*. Tillgänglig: <https://www.ivl.se/sidor/vara-omraden/transporter/hbefa-modellering.html> [2019-01-10]
- Konsumentverket, (u. å.). *Utsläppsklass*. Tillgänglig: <https://www.bilsvar.se/sv/ordlista/Utsläppsklass/> [2019-01-16]
- Kwon, T., (2005). "Decomposition of factors determining the trend of CO₂ emissions from car travel in Great Britain (1970–2000)", *Ecological Economics*, vol. 53(2), ss. 261–275.
- Mendiluce, M. & Schipper, L., (2011). "Trends in passenger transport and freight energy use in Spain", *Energy Policy*, vol. 39(10), ss. 6466-6475.
- Miljö- och energidepartementet, (2017). *Sweden's Seventh National Communication on Climate Change*. Stockholm: Naturvårdsverket (Diarienummer: M2018/01720/K).
- Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet, (2005). *Sveriges fjärde nationalrapport om klimatförändringar*. Stockholm. (Ds 2005:55).
- Miljödepartementet, (2009). *Sveriges femte nationalrapport om klimatförändringar*. Stockholm. (Ds 2009:63).
- Miljödepartementet, (2014). *Sveriges sjätte nationalrapport om klimatförändringar*. Stockholm. (Ds 2014:11).
- Naturvårdsverket, (2017). *Fördjupad analys av svensk klimatstatistik 2017*. Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 6782).
- Naturvårdsverket, (2018a). *Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-a-O/Vaxthusgaser-utslapp-franinrikes-transporter/> [2018-12-21]
- Naturvårdsverket, (2018b). *Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-a-O/Vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/> [2019-01-10]

Naturvårdsverket, (2018c). *National Inventory Report Sweden 2018, Greenhouse Gas Emission Inventories 1990–2016, Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket, (2018d). *National Inventory Report Sweden 2018: Annexes, Greenhouse Gas Emission Inventories 1990–2016, Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*. Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket, (2018e). *Fördjupad analys av svensk klimatstatistik 2018*. Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 6848).

Naturvårdsverket, (2018f). *Lokala styrmedel och åtgärder*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Luft/Styrmedel-och-atgarder/Lokala-styrmedel-och-atgarder/> [2019-01-16]

Naturvårdsverket, (2018g). *Utsläpp av växthusgaser från utrikes sjöfart och flyg*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-utrikes-sjofart-och-flyg/> [2019-02-22]

Organisation for Economic Co-operation and Development & IEA, (2014). *Energy efficiency indicators: essentials for policy making*. Paris: International Energy Agency.

Papagiannaki, K. & Diakoulaki, D., (2009). "Decomposition analysis of CO2 emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark." *Energy Policy*, vol. 37(8), ss. 3259–3267.

Pröckl, E., (2015). "Dödsstöten för svenska etanolsatsningen". *NyTeknik*, 15 mars
Tillgänglig: <https://www.nyteknik.se/nyheter/dodsstoten-for-svenska-etanolsatsningen-6343299> [2019-01-18]

Riksrevisionen, (2011). *Biodrivmedel för bättre klimat: Hur används skattebefrielsen?* Stockholm. (RiR 2011:10), ss. 34–35.

SFS 2017:720. *Klimatlag*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.

SFS 2010:598. *Lag om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.

SFS 2005:1248. *Lag om skyldighet att tillhandahålla förnybara drivmedel*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.

Schipper, L., Saenger, C. & Sudardshan, A., (2011). "Transport and Carbon Emissions in the United States: The Long View", *Energies*, vol. 4(4), ss. 563-581.

Statistiska centralbyrån, (2016). *Rekordår och kriser – så har BNP ökat och minskat*. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/artiklar/2016/bruttonationalprodukten-bnp/> [2019-03-01]

Statistiska centralbyrån, (2018). *Befolkningsstatistik i sammandrag 1960–2017*. Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter->

amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/helarsstatistik--rikt/befolkningsstatistik-i-sammandrag/ [2018-12-14]

Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet, (2014). *Etanolbränslet E85*.

Tillgänglig: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/drivmedel/fornybara-drivmedel/etanolbranslet-e85/> [2019-01-10]

Trafikverket, (2017). Emissionsfaktorer, bränsleförbrukning och trafikarbete för år 2016. I: Trafikverket, (2017). *Handbok för vägtrafikens luftföroreningar*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Luft/Dokument-och-lankar-om-luft/handbok-for-vagtrafikens-luftfororeningar/> [2019-03-05]

Transportstyrelsen, (u. å.a). *Miljöklassade bränslen*. Tillgänglig: <https://transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Miljo/Luftkvaliet-i-tatorter/Miljoklassade-branslen/> [2019-01-16]

Transportstyrelsen, (u. å.b). *Avgaser*. Tillgänglig: <https://transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Miljo/Luftkvaliet-i-tatorter/Avgaser/> [2019-01-16]

United Nations Framework Convention on Climate Change, (u. å.). *Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party*. Tillgänglig: http://di.unfccc.int/detailed_data_by_party [2019-03-04]

United States Environmental Protection Agency, (u. å.a). *Fuel Economy in Cold Weather*. Tillgänglig: <https://www.fueleconomy.gov/feg/coldweather.shtml> [2019-03-06]

United States Environmental Protection Agency, (u. å.b). *Fuel Economy in Hot Weather*. Tillgänglig: <https://www.fueleconomy.gov/feg/hotweather.shtml> [2019-03-06]

ICKE PUBLICERAT MATERIAL

Eklund, V., (2019). Personlig kommunikation. Representant för Statistiska Centralbyrån.

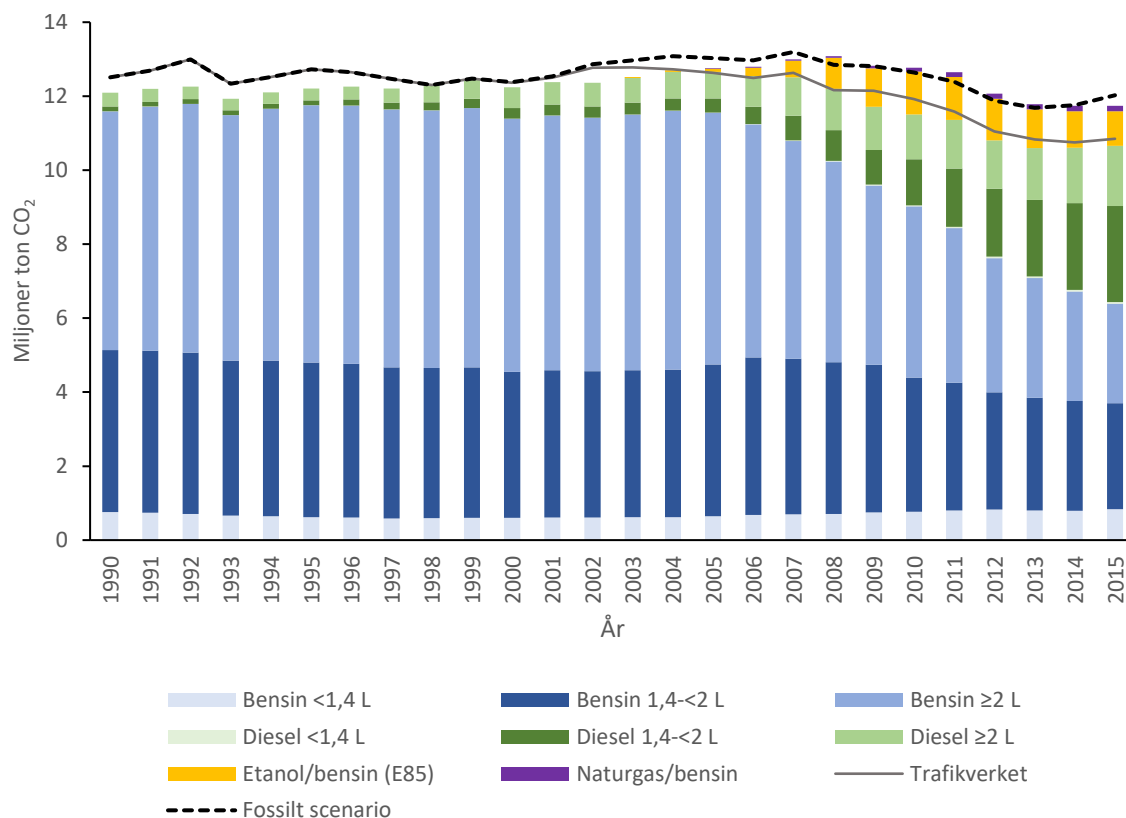
Johansson, H., (2019). Personlig kommunikation. Representant för Trafikverket.

Yahya, M-R., (2018–2019). Personlig kommunikation. Representant för IVL Svenska Miljöinstitutet.

APPENDIX A

HBEFA

Figur A1 visar de CO₂-utsläpp som HBEFA beräknat för åren 1990–2015 inom personbilstrafiken. Figuren visar hur stor del respektive bränsleteknologi och motorstorlek bidragit med. I figuren ses även en grå linje och en streckad svart linje som visar Trafikverkets beräkningar respektive ett fossilt scenario av det totala utsläppet av CO₂ inom personbilstrafiken.



Figur A1: CO₂-utsläpp från personbilstrafiken mellan åren 1990–2015. Staplarna representerar bidraget från respektive bränsleteknologi och för bensin- och dieslbilar även motorstorlekar. Beräkningarna baserar sig på data från HBEFA. Den grå linjen och den streckade svarta linjen visar det totala CO₂-utsläppet som Trafikverket beräknat respektive ett fossilt scenario. Källa: Johansson (2019) och Yahya (2018–2019).

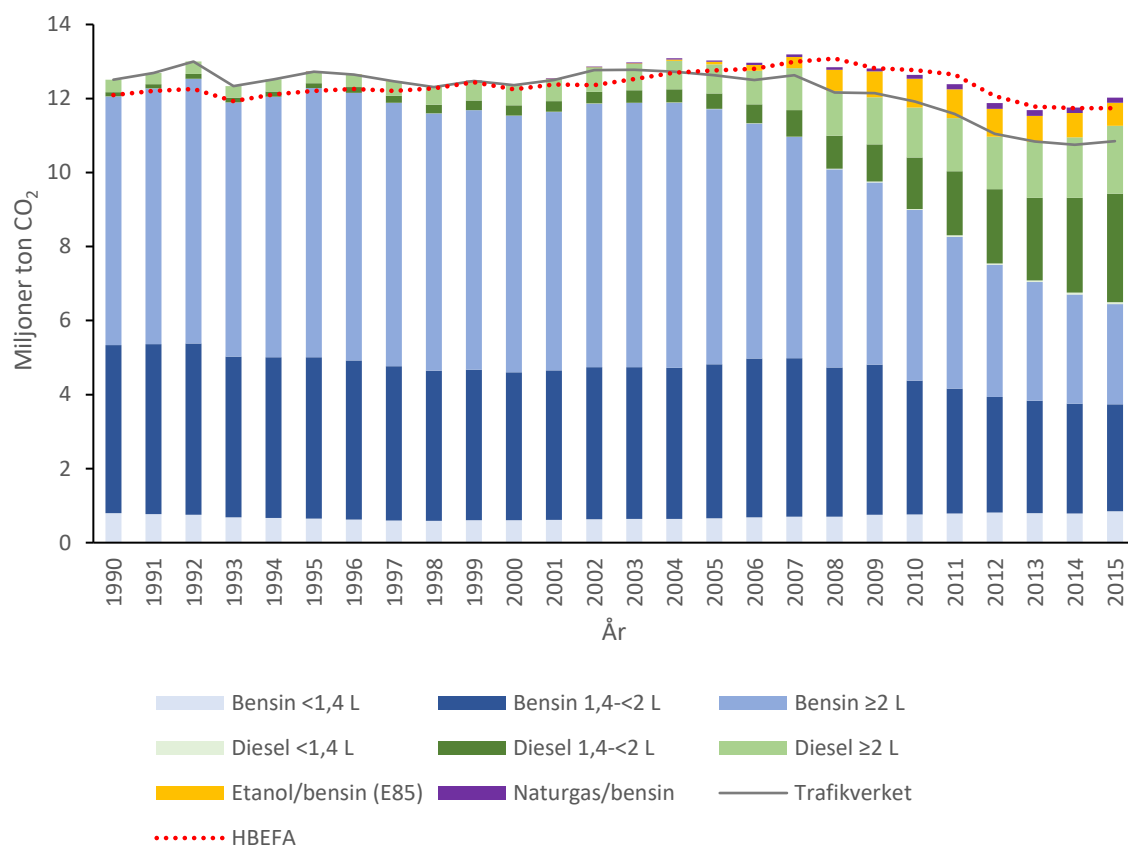
Tabell A1 presenterar de fossila och biogena emissionerna från HBEFA från åren: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 och 2015. Dessa räknades ut genom att dividera CO₂-utsläppen med antalet fkm för varje bränsleteknologi.

Tabell A1: Emissioner per körd sträcka för personbilar inom respektive bränsleteknologi. Emissionerna är medelvärden uträknade baserat på HBEFA:s CO₂-utsläpp och trafikarbete. Källa: Yahya (2018–2019).

	BENSIN	DIESEL	ETANOL/BENSIN (E85)	NATURGAS/BENSIN
ÅR	Emissioner [g CO ₂ /fkm]	Emissioner [g CO ₂ /fkm]	Emissioner [g CO ₂ /fkm]	Emissioner [g CO ₂ /fkm]
1990	218,2	194,9	–	–
1995	215,6	188,9	–	–
2000	212,1	176,3	–	–
2005	210,1	178,9	273,4	149,2
2010	206,0	175,1	286,7	150,0
2015	191,3	155,1	284,3	139,8

FOSSILT SCENARIO

Figur A2 visar de CO₂-utsläpp som det fossila scenariot gav åren 1990–2015 inom personbilstrafiken. Figuren visar hur stor del respektive bränsleteknologi och motorstorlek bidragit med. I figuren ses även en rödprickig linje och en grå linje som visar HBEFA:s respektive Trafikverkets beräkningar och av det totala utsläppet av CO₂ inom personbilstrafiken.



Figur A2: CO₂-utsläpp från personbilstrafiken mellan åren 1990–2015. Staplarna representerar bidraget från respektive bränsleteknologi och för bensin- och dieslbilar även motorstorlekar. Beräkningarna är ett fossilt scenario som baserar sig på data från Trafikverket samt HBEFA. Den rödprickiga linjen och den gråa linjen visar det totala CO₂-utsläppet som HBEFA respektive Trafikverket beräknat. Källa: Johansson (2019) och Yahya (2018–2019).