



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEK W 21007

Examensarbete 30 hp
Februari 2021

Energieffektivisering - inom transportsektorn

En fallstudie på ett företags fordonspark

Isak Eklöv

Referat

Energieffektivisering inom transportsektorn - En fallstudie på ett företags fordonspark

Isak Eklöv

Miljömålet om noll nettoutsläpp av växthusgaser till 2045 som beslutats av Sveriges riksdag lägger grund för en standard som innebär krav på stora förändringar inom många sektorer på såväl teknisk som politisk nivå. För att kunna uppnå detta mål krävs stora effektiviseringar av Sveriges fordonspark och ett steg på vägen skulle potentiellt kunna vara en omställning till fler fordon med alternativa drivmedel. I detta examensarbete undersöktes potentialen för företag att minska sina utsläpp av växthusgaser samt totala ägandekostnader genom att ändra sammansättningen av sin fordonspark. Inledningsvis genomfördes en generell litteraturstudie där teori och data insamlades för livscykelutsläpp av växthusgaser samt kostnader för olika typer av fordon med olika typer av drivmedel. Därefter beräknades genom en fallstudie på ett företags fordonspark växthusgasutsläpp och totala ägandekostnader för dessa drivmedelstyper. Slutligen utvecklades ett programmeringsscript för att automatisera processen vilken användes för att skapa scenarier med olika sammansättningar av fordonsparken. För att utvärdera robustheten i livscykelberäkningarna genomfördes också en känslighetsanalys där parametrar individuellt varierades för att studera utslaget på slutresultatet.

Resultatet av fallstudien visade att fordon med alternativa drivmedel beräknas leda till lägre livscykelutsläpp av växthusgaser jämfört med de konventionella alternativen för samtliga fordonskategorier där alternativa drivmedel är kommersiellt tillgängliga. Det enda undantaget för detta var eldrivna tjänstefordon med 100 kWh batteri vilket beräknades leda till högre livscykelutsläpp än de fossila alternativen. Resultatet av kostnadsanalysen visade på samma mönster men i detta fall beräknades gasdrivna servicefordon medföra högre ägandekostnader än sina fossila alternativ. Känslighetsanalysen för växthusgasutsläpp visade att batteritillverkning, bastillverkning och användningsfasens avgasutsläpp var de mest utslagsgivande parametrarna för tjänstefordon. För kostnader beräknades inköpskostnaden vara den mest utslagsgivande parametern.

Resultatet av scenarioanalysen visade att det är möjligt att minska livscykelutsläpp motsvarande drygt 22 % av de totala livscykelutsläppen av växthusgaser för fordonsparken samtidigt som det är möjligt att göra kostnadsbesparingar på ca 1,1 % av de totala ägandekostnaderna för fordonsparken enligt grundscenariot vilket innebar utbyte av fordon vars leasingperiod för företaget hade gått ut. Övriga scenarier visade att antingen utsläppsminskningar på 37 % eller kostnadsminsk-

ningar på 7 % beroende på val av scenario är möjligt.

Nyckelord: växthusgasutsläpp, alternativa drivmedel, elfordon, total ägandekostnad, livscykelanalys, hållbar fordonspark

Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Box 337, SE-751 05 Uppsala, ISSN 1401-5765

Absctract

Energy efficiency within the transport sector - A case study on the vehicle fleet of a company

Isak Eklöv

The environmental objective of zero net emissions of greenhouse gases by 2045 as decided by the Swedish parliament establishes a framework for a standard that implies a demand for considerable changes within many sectors at both technical and political level. The need for long term efficiency solutions with respect to sustainability to be able to reach this goal is great and one step towards this could potentially be an adaption to an increased amount of vehicles with alternative fuels in the vehicle fleet of Sweden. This thesis examined the potential for companies to reduce their life-cycle emissions of greenhouse gases as well as the total cost of ownership (TCO) for their vehicles by changing the composition of their vehicle fleet.

The project started with a literature review of a general character where data for life-cycle emissions of greenhouse gases as well as TCO for different vehicle types was examined and collected. Then the life-cycle emissions of greenhouse gases and TCO were calculated for the different vehicle types through a case study on the vehicle fleet of a company. Finally a programming script was developed to increase the efficiency of the process which was then used to create scenarios with different compositions of the vehicle fleet. A sensitivity analysis was also carried out to evaluate the robustness of the life cycle calculations where the parameters individually were altered and the effect on the final result was examined.

The result of the case study showed that alternative fueled vehicles are expected to lead to lower life-cycle emissions of greenhouse gases compared to the conventional alternatives for all vehicle types where alternative fuels are commercially available. The only exception for this was the electric fringe benefit vehicle with a 100 kWh battery which was expected to lead to higher life-cycle emissions than its fossil alternatives. The result of the cost analysis showed a similar pattern but in this case the service vehicle fueled with gas was expected to lead to a higher value of TCO than its fossil alternatives. The sensitivity analysis for life-cycle emissions of greenhouse gases showed that production of lithium-ion batteries, vehicle base production and tailpipe emissions were the most contributing parameters for fringe benefit vehicles. The purchase cost was found to be the most contributing parameter for TCO.

The result of the scenario analysis showed that there is a potential to decrease

life-cycle emissions of greenhouse gases by 22 % of the total life-cycle emissions for the vehicle fleet according to the Base-case scenario. The potential to decrease TCO was found to be 1,1 %. The other scenarios showed a potential decrease for life-cycle emissions of 37 % and a cost decrease of 7 % individually.

Key words: greenhouse gas emissions, alternative fuels, electric vehicles, total cost of ownership, life cycle assessment, sustainable vehicle fleet

Department of Earth Science, Uppsala University, Box 337, SE-751 05 Uppsala, ISSN 1401-5765

Förord

Detta examensarbete utgör 30 hp och är det avslutande momentet inom Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet. Examensarbetet utfördes under hösten 2018. Ämnesgranskare var Mikael Höök vid Institutionen för geovetenskaper, och handledare var Jessica från företaget i samarbetet.

Jag vill först och främst tacka min handledare Jessica som gav mig möjligheten att genomföra arbetet i samarbete med företaget och för stödet genom hela processen. Jag vill även tacka min ämnesgranskare Mikael Höök för all oerhört värdefull feedback och vägledning genom projektets gång. Ett stort tack till Jonathan Schurmann för all hjälp och stöd med utvecklingen av programmeringsscriptet för scenarioanalysen. Slutligen vill jag även tacka Elias, Fredrik, Marie och Susanne från företaget som har försett mig med all den information jag har behövt för att genomföra arbetet.

Isak Eklöv
Uppsala 2021

Copyright © Isak Eklöv, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.
UPTEC W 21 007, ISSN 1401–5765.
Publicerad digitalt i DiVA, 2021, genom institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala. (<http://www.diva-portal.org/>)

Populärvetenskaplig sammanfattning

Klimatförändringar utgör ett ständigt ökande hot mot livet på jorden. I takt med det ökande hotet har även strängare miljölagstiftning och miljömål införts. I Parisavtalet beslutade FN år 2015 om nya mål att begränsa temperaturökningen till två grader för att tackla klimatförändringarna. Även om dessa inte är bindande har det nu lett till att Sveriges riksdag i sin tur har beslutat om att Sverige senast 2045 ska ha noll nettoutsläpp av växthusgaser. För att kunna nå detta stränga mål krävs stora insatser på såväl teknisk som politisk nivå i samhället. Ett steg på vägen skulle kunna vara en omställning från bensin- och dieslbilar till bilar med alternativa drivmedel som exempelvis elbilar, gasdrivna bilar och hybridbilar.

I detta examensarbete undersöktes därför möjligheten för ett företag eller en organisation att minska sina utsläpp av växthusgaser samt totala ägandekostnader genom att ändra sammansättningen av sin fordonspark. Genom att studera tidigare forskning insamlades information om växthusgasutsläpp från vagga till grav samt totala ägandekostnader för olika typer av drivmedel som finns på marknaden i dagsläget. I en fallstudie på ett företags fordonspark kunde sedan denna information sammanställas och beräknas för att sedan jämföras mellan olika fordons- och drivmedelstyper. Med resultatet från fallstudien skapades scenarier som representerade olika möjliga vägar att gå för företagets inköp av fordon. Processen effektiviserades genom ett program som utvecklades för att skapa dessa scenarier automatiskt.

Resultatet av fallstudien visade att både elbilar, gasbilar, laddhybridbilar och elhybridbilar leder till lägre utsläpp under hela livscykeln jämfört med de fossila alternativen. Det enda fallet där de fossila alternativen var bättre än de alternativa drivmedlen var för eldrivna tjänstebilar med den extrema batterikapaciteten på 100 kWh. Resultatet vid beräkning av kostnader visade på samma mönster men i detta fall var gasdrivna skåpbilar dyrare än sina fossila alternativ.

För att undersöka hur stabila dessa modeller är genomfördes tester där enskilda delar av bilarnas livscykel både för växthusgasutsläpp och kostnader kraftigt ökades/minskades och på så sätt se vilket utslag det hade på slutresultatet. Genom denna analys kunde det konstateras att batteriproduktionen för elbilar, bastillverkningen och avgasutsläppen för bilar med förbränningsmotor var de delar av livscykeln som var viktigast för de totala växthusgasutsläppen. För totala ägandekostnader var det bilens inköpskostnad som var den viktigaste delen.

Scenarioanalysen visade att företaget har möjlighet att minska sina utsläpp med

drygt 22 % av de totala utsläppen av växthusgaser som uppstår från vagga till grav för företagets fordon. Dessutom har företaget möjlighet att spara ca 1,1 % av de totala ägandekostnaderna för hela fordonsparken. Sammantaget är det alltså mycket troligt att en omställning från fossila bilar till bilar med alternativa drivmedel kommer ha en viktig roll i utvecklingen mot en hållbar transportsektor.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Syfte och mål	1
1.2	Frågeställningar	2
1.3	Avgränsningar och vägval	2
2	Bakgrund till vägfordon och deras utsläpp	4
2.1	Fordonstyper och drivmedel	4
2.1.1	Dieselfordon	5
2.1.2	Bensinfordon	6
2.1.3	Elfordon	6
2.1.4	Elhybridfordon	7
2.1.5	Laddhybridfordon	7
2.1.6	Gasdrivna fordon	7
2.1.7	Bränslecellfordon	8
2.1.8	Emissionsfaktorer drivmedel	8
2.2	Tidigare studier med LCA-metodik	9
2.2.1	LCA-metodik	9
2.2.2	Sammanställning av tidigare studier	9
2.3	Bakgrund till lagar och regler för vägfordon	10
2.3.1	EU:s standardtest för utsläpp	10
2.3.2	EU:s utsläppsklasser	12
2.3.3	Bonus-Malussystemet för lätta fordon	13
2.3.4	Sveriges miljözoner	13
2.3.5	Förutsättningar och potential för laddbara och alternativa fordon i Sverige	14
2.3.6	Förutsättningar och potential för alternativa drivmedel i mellersta och södra Sverige	15
3	Metod och genomförande	17
3.1	Bakgrund till företaget, existerande bilpolicy/miljömål samt fordonsparkens sammansättning	17
3.2	Presentation av dataunderlag för drivmedelstyper	19
3.3	Fallstudie	21
3.3.1	Analys av växthusgasemissioner	21
3.3.2	Beräkning av livscykelemissioner av växthusgaser	24
3.3.3	Analys av kostnader	24
3.3.4	Beräkning av totala ägandekostnader	28
3.4	Scenarioanalys	28
3.4.1	Scenario 1: Grundscenario	29
3.4.2	Scenario 2: Det 'sparsamma' alternativet	29
3.4.3	Scenario 3: 'Business as usual'	30
3.4.4	Scenario 4: Det 'optimistiska' scenariot	30
3.4.5	Scenario 5: Prioritera kostnader	30
3.5	Känslighetsanalys	31

4	Resultat	32
4.1	Analys av växthusgasemissioner	32
4.2	Kostnadsanalys	36
4.3	Resultat - Scenarioanalys	44
4.4	Resultat - Känslighetsanalys	46
5	Diskussion	51
5.1	Livscykelemissioner av växthusgaser	51
5.2	Totala ägandekostnader	53
5.3	Scenarioanalys	55
5.4	Känslighetsanalys	57
5.5	Hinder och begränsningar vid fordonsutbyte enligt scenarioanalysen	59
6	Slutsatser	61
6.1	Förslag på fortsatta studier	62
A	Appendix	70
A.1	Lista på referenser som använts för batteristorlekar och bränsleförbrukning . . .	70
A.2	Programkod från Python	71

1 Introduktion

År 2015 antog FN 17 hållbarhetsmål för att bemöta de viktigaste globala utmaningarna världen står inför i framtiden. Målen berör utmaningar relaterade till bland annat fattigdom, ekonomisk tillväxt och klimatförändringar. FN beslutade 2015 om nya mål för begränsande av koldioxidutsläpp i atmosfären. Målen som angavs i Parisavtalet innebär bland annat att arbeta för att begränsa den globala temperaturökningen till två grader celsius (UN, 2018).

Sveriges riksdag har sedan dess beslutat om ett miljömål som innebär att Sverige senast 2045 ska ha noll nettoutsläpp av växthusgaser. Detta klimatpolitiska ramverk innehåller etappmål där ett av dem innebär att utsläpp från transportsektorn i Sverige ska minska med 70 % till 2030 jämfört med 1990 (Boberg, P, 2018).

Vägtransportsektorns utsläpp utgör ca 30 % av de totala koldioxidutsläppen i Sverige och en stor del av den potentiella effektiviseringen ligger i att hitta alternativ till de fossila drivmedel som dominerar i dagsläget samt att bränsleeffektivisera fordonens motorer (Trafikverket, 2017b).

Det har under lång tid bedrivits mycket forskning och livscykelanalys(LCA)-studier som undersöker energieffektiva alternativ till fossilt drivna fordon och potentialen till effektivisering av dess utsläpp (Van Mierlo et al., 2016); (Bauer et al., 2015); (Eriksson and Ahlgren, 2013). I dagsläget finns det dock inte många tidigare studier som har fokuserat på en specifik fordonspark som syftat till att sätta dessa energieffektiva alternativ i ett större sammanhang och på så vis utvärdera möjligheten att minska växthusgasutsläpp.

1.1 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet var att undersöka ett företags potential att minska sina utsläpp av växthusgaser samt totala ägandekostnader för sin fordonspark och därmed bedöma möjligheten att lättare nå de rådande miljömålen. Detta uppnåddes genom en fallstudie av ett företags fordonspark där lösningar som kan minska fordonens växthusgasutsläpp utvärderades för att även underlätta mötande av potentiella kommande lagkrav.

1.2 Frågeställningar

- Hur kan företaget minska sina växthusgasutsläpp genom att ändra sammansättningen av sin fordonspark?
- Vilken potential finns att även sänka långsiktiga kostnader för fordonsparken och därmed företaget?
- Vilka möjligheter finns att ändra fordonsparkens sammansättning fram till 2030 för det studerade företaget, med hänsyn till ekonomiska faktorer och policyer kring inköp av bilar?

1.3 Avgränsningar och vägval

Studien innefattar en undersökning av möjliga effektiviseringar för utsläpp av växthusgaser genom ändring i sammansättningen av ett företags fordonsflotta. Det togs ej hänsyn till koldioxidutsläpp som uppstår vid drift efter att fordonets utbytesperiod är över. Detta beror på att dessa utsläpp sker bortom företagets möjlighet till påverkan. Det har dock tagits hänsyn till avfall och återvinningsstadiet vilket förblir detsamma oavsett vad som händer med fordonet efter utbytesperiodens slut.

De eventuella effektiviseringarna som är möjliga att genomföra för företagets fordonspark studerades endast med avseende på varje individuellt fordon livscykelutsläpp av växthusgaser. Det togs alltså ej hänsyn till andra möjliga metoder av effektiviseringar för fordonsparken som skulle kunna leda till lägre utsläpp som exempelvis minskat transportbehov inom företaget. Studien inkluderade dessutom endast de fordonsstorlekar och fordonstyper som är aktuella för företagets existerande transportbehov.

Denna studie undersökte endast miljöpåverkan med avseende på växthusgasutsläpp. När endast benämningen 'emissioner' förekommer i rapporten innebär det alltså endast utsläpp av koldioxidekvivalenter. Övrig direkt och indirekt miljöpåverkan som uppstår som konsekvens av fordonstrafiken har ej tagits hänsyn till i denna rapport. Även om andra miljöpåverkanskategorier är viktiga, så kunde de inte analyseras i detalj inom tidsramarna för detta examensarbete.

Endast kommersiellt tillgängliga drivmedel, modeller, fabrikat och tekniker för fordon i Sverige inkluderas i denna rapport. Det tas alltså inte hänsyn till eventuell teknik eller fordonsmodeller som förväntas bli tillgängligt inom snar framtid utan endast det som finns tillgängligt på marknaden i dagsläget.

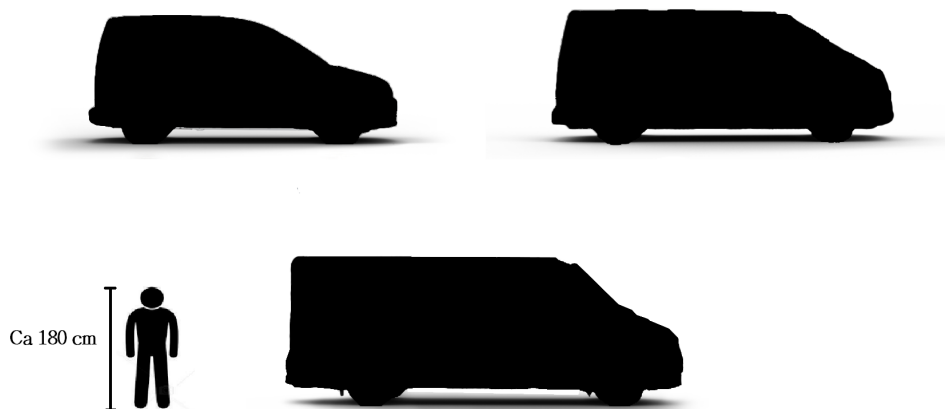
Etanol utesluts som drivmedel i fallstudien med hänsyn till tillgängligheten på ursprung av data och med tanke på försäljningens utveckling i Sverige samt tillgängliga modeller på marknaden i dagsläget Östlund (2018).

2 Bakgrund till vägfordon och deras utsläpp

2.1 Fordonstyper och drivmedel

Sveriges totala fordonspark av personbilar bestod år 2016 av drygt 4,7 miljoner fordon. De flesta fordonen använder i dagsläget fossila drivmedel men det finns alternativ på marknaden som både innefattar hybridkombinationer och fullständigt eldrivna fordon samt andra bränsletyper som exempelvis etanol. Enligt Trafikanalys rapport från 2017 bestod drivmedelsfördelningen för den svenska fordonsparken av personbilar till 61 % av bensin, 32 % diesel, 5 % etanol och resterande 2 % övriga drivmedel vid slutet av 2016. Drivmedelsfördelningen för den svenska fordonsparken av lätta lastbilar var vid samma tidpunkt 95 % diesel, 3 % bensin och resterande 2 % övriga drivmedel (Saxton, 2017).

De tre kategorierna inom servicefordon som studerades i denna rapport benämns som liten, mellan och stor. För att få en uppfattning om vad dessa benämningar innebär mer konkret ges en visuell presentation av exempel på dessa kategorier i Figur 1. Utöver underkategorier för transportbilarna förekommer även olika typer av personbilar, även om de inte behandlas som separata kategorier i denna rapport. De vanligaste typerna är kombi, sedan, coupe och SUV och är byggda för att passa olika preferenser. Dessa förekommer i olika storlekar beroende på modell, och mängd koldioxidutsläpp varierar med storleken där SUV generellt sett medför störst utsläpp (Folksam, 2015).



Figur 1: *Exempel på servicefordon av kategori liten, mellan och stor. Omarbetad från: (Volkswagen, 2018).*

Under avsnitt 2.1.1-2.1.8 beskrivs de drivmedelstyperna som har studerats i denna rapport samt deras emissioner.

2.1.1 Dieselfordon

Det vanligast förekommande drivmedlet för fordon i Sverige är Diesel och består precis som bensin av olika typer av kolvätekedjor. Dieseloljans komponenter är både tyngre och har högre kokpunkt (170-360 °C) än komponenter i bensin. Kolvätekedjor i dieseloljans komponenter har vanligtvis 12-20 kolatomer (AMF, 2018). Genom förbränningsprocessen i motorn omvandlas kemisk energi i dieseloljan till röresleenergi. Under processen nås en högre kompressionsnivå för en dieselmotor jämfört med en bensinmotor. Detta leder till högre termisk effektivitet i dieselmotorn och är anledningen till att dieselfordon har bättre bränsleekonomi jämfört med bensinfordon (Takaishi et al., 2008). År 1991 infördes ett miljöklassnings-system för diesel vilket innebar ett minimikrav på drivmedlet för att få säljas på marknaden. För diesel förekommer miljöklasserna 1, 2 och 3 där den lägsta klassen är den mest miljömässigt gynnsamma. EU:s krav för diesel motsvarar miljöklass 3 men i Sverige dominerar marknaden av diesel av miljöklass 1. De huvudsakliga skillnaderna mellan diesel av miljöklass 1 respektive 3 är svavelhalten som är lägre för diesel av miljöklass 1 samt förekomsten av hälsoskadliga polyaromatiska kolväten vilka inte får förekomma i betydande mängder i diesel av miljöklass 1 (Transportstyrelsen, 2018d).

I takt med större fokus på utsläppseffektivisering har även dieselsorter med olika biologiska inblandningar fått ett större inslag på marknaden under senare år. De dieselsorter som studerades i denna rapport var konventionell 'ren' diesel samt biodiesel med inblandning av fettsyrametylestrar (FAME) och hydrerade vegetabiliska oljor (HVO). FAME är ett biodrivmedel som framställs ur olika oljeväxter och används som en förnyelsebar komponent i dieseldrivmedlet men finns också som 100 % FAME-bränsle i mindre utsträckning. Inblandning av FAME i dieseldrivmedlet är möjligt upp till 7 % för att fortfarande uppfylla kvalitetskraven för svensk standard SS 15 54 35 på diesel enligt Miljöklass 1 (Svenska Oljebolaget, 2018b). HVO kan blandas in i dieseldrivmedel. Som namnet antyder består HVO av vätebehandlade vegetabiliska oljor där de vegetabiliska oljorna har genomgått en process där de med vätgas tillsammans med inverkan från en katalysator behandlats i kvalitetshöjande syfte för att kunna användas som ett drivmedel. HVO är kemiskt identisk med diesel och därför kan konventionell diesel blandas eller ersättas med HVO i dieselmotorer. Om ett fullständigt byte från konventionell diesel till 100 % HVO eller FAME planeras krävs dock att motorn är särskilt godkänd av motortillverkaren (Svenska Oljebolaget, 2018b).

2.1.2 Bensinfordon

Bensin är ett vanligt fossilt drivmedel i Sverige som framställs ur petroleum vilket utvinns ur berggrunden. Jämfört med dieselolja är bensinens komponenter lättare, har lägre kokpunkt (30-210 °C) och består av kortare kolväteskedjor med vanligtvis 4-12 kolatomer (AMF, 2018). Till skillnad från diesel är tillgången på alternativa bensinsorter med lägre koldioxidutsläpp begränsad. Istället fokuserar bensinproducenter på att effektivisera sina utsläpp genom att införa blandningar med tillsatser av etanol. Den 1 juli 2018 infördes lagen om reduktionsplikt i Sverige vilket innebär att bensin som säljs i Sverige medför en viss mängd reduktion koldioxidutsläpp och denna reduktion förväntas successivt öka med större andel tillsatser av etanol i drivmedlet (Svenska Oljebolaget, 2018a). I denna studie har en låginblandning motsvarande 4,8 % antagits baserat på årsgenomsnitt från 2017 (Trafikverket, 2017a).

2.1.3 Elfordon

Elfordon är fordon som drivs av en eller flera elmotorer vilka vanligast drivs av ett metalljonsbatteri. Eftersom elfordon inte drivs av någon förbränningsprocess sker därför inte heller några avgasutsläpp. Elfordonets batteri laddas direkt från elnätet. Det sker alltså inga direkta koldioxidutsläpp från elfordon i drift utan de utsläpp som är kopplade till fordonen uppstår förutom av elanvändningen främst vid tillverkningen av batteriet (Miljöfordon, 2017b). Elanvändningen vid drift medför indirekt klimatpåverkan genom produktionen av de energikällor som elen härstammar från. En rapport från IVL (Romare and Dahllöf, 2017) visade att batteritillverkningen för elfordon släpper ut så mycket koldioxid att den delvis tar bort det miljömässiga syftet med elfordonet. Det mest troliga spannet för emissionsfaktorn vid tillverkning av litiumjonbatterier för eldrivna fordon är 150-200 kg CO_2 -ekv/kWh enligt IVL:s rapport där en mängd olika studier undersöktes. Värdet baseras bland annat på den stora inverkan som platsen för batteriproduktionen får på produktionsutsläppen. Detta eftersom elmixen har stor variation beroende på i vilket land batteriet är producerat. Flertalet andra studier som inriktat sig på batteriproduktionens utsläpp har också kunnat konstatera att eldrivna fordon släpper ut en större mängd växthusgaser från produktion till drift jämfört med konventionellt drivna fordon (Chul Kim et al., 2016).

Det viktigaste för det eldrivna fordonets potential i framtiden kommer därför vara att möjliggöra en batteriproduktion som sker så energisnålt som möjligt samtidigt som räckvidden förlängs (Romare and Dahllöf, 2017). Eldrivna fordon som såldes inom Sverige 2018 har en stor variation av räckvidder enligt New European Driving

Cycle (NEDC) med beräknade räckvidder från drygt 10 mil upp till över 60 mil (Alltomelbil, 2018). Räckvidden blir dock kortare under vintertid dels då en stor del av elen går till att värma upp kupéutrymmet i fordonet men också eftersom sänkta temperaturer påverkar batteriets kapacitet. Detta är ett område som precis som för batteritillverkningen är under kontinuerlig utveckling (Yuksel and Michalek, 2015).

2.1.4 Elhybridfordon

Elhybridfordon använder två olika motorer, en förbränningsmotor och en elmotor. Vid körning arbetar båda motorerna för att driva fordonet, antingen var och en för sig eller båda samtidigt. Ett elhybridfordon kan inte laddas med el externt utan fordonet använder främst förbränningsmotorn för att ladda batteriet under körning men kan också ta tillvara på energi från inbromsningar och tomgång för att ladda batteriet. Dessutom kan energin som normalt blir spillvärme i ett vanligt fordon ta tillvaras på i form av el i batteriet. På så sätt blir elhybridfordonet ett energieffektivt alternativ till andra fordonstyper på marknaden (Miljöfordon, 2017c).

2.1.5 Laddhybridfordon

Laddhybridfordon som också kallas plug-in-hybridfordon är ett fordon som precis som elhybridfordon har två olika motorer, en förbränningsmotor och en elmotor. Elmotorn drivs precis som i elfordonen av ett batteri men är av mindre karaktär och räcker därför kortare än de fullständigt eldrivna fordonen. Skillnaden mellan laddhybridfordonet och elhybridfordonet är att batteriet i laddhybriden precis som ett vanligt eldrivet fordon också kan laddas. Utöver elmotorn tankas laddhybriden med bensin eller i mer ovanliga fall diesel. I framtiden planeras det även att tillverka laddhybridfordon som kan drivas med förnyelsebara bränslen (Miljöfordon, 2017b).

Ett laddhybridfordon använder båda sina motorer för att ge den mest bränsle-effektiva lösningen vid drift. Hur fördelningen av el- och bränsleförbrukningen sker bestäms av en mängd faktorer som exempelvis bilens vikt, aktuell hastighet och vägunderlaget (Mitsubishi Motors, 2018).

2.1.6 Gasdrivna fordon

Gasdrivna fordon har oftast två tanksystem, ett för fordonsgas och ett för bensin. I övrigt fungerar gasdrivna fordon som bensin- eller dieselfordon. Räckvidden för gastanken är dock kortare i jämförelse med de fossila drivmedlen men eftersom bensintanken tar vid när gastanken är tom är den totala räckvidden något längre

för ett gasdrivet fordon. Det som avses med fordonsgas är antingen biogas, naturgas eller en blandning av dem. Vid tankning av fordonsgas i Sverige erhålls en blandning av biogas och naturgas och enligt Trafikverket var genomsnittet för fordonsgas år 2016 75 % biogas och 25 % naturgas. Det är dock viktigt att notera att detta endast är ett riksgenomsnitt och att det kan förekomma lokala skillnader (Anderson and Einebrand, 2015).

Biogas är ett förnyelsebart drivmedel som består till största delen av metan som kan utvinnas genom rötning av bland annat livsmedelsavfall. Naturgas är ett fossilt drivmedel som också består mestadels av metan men utvinns ur gasfällor i jord-skorpan och bidrar därmed till högre koldioxidutsläpp än biogasen. Den bidrar som drivmedel däremot till ca 25 % mindre koldioxidutsläpp jämfört med bensin. Biogasen säljs även som eget drivmedel utan inblandning (Biogas 100) men utbudet är mindre än den blandade fordonsgasen (Energimyndigheten, 2017a).

2.1.7 Bränslecellfordon

Ett bränslecellfordon är en typ av elbil som drivs av bränsleceller som omvandlar syre och ett drivmedel till elektricitet vilket driver fordonets motor. Istället för att laddas med el som för eldrivna fordon laddas bränslecellfordonet oftast med vätgas (Miljöfordon, 2017a). Om denna vätgas dessutom är producerad med grön el är den så gott som fri från koldioxidutsläpp eftersom det inte sker några avgasutsläpp i form av koldioxid. Denna teknik är dock i dagsläget ej kommersialiserad utan befinner sig på ett experimentellt stadium (Tokimatsu et al., 2018).

Både vätgasinfrastrukturen och utbudet av fordonsmodeller med vätgas som drivmedel i Sverige är mycket begränsad i dagsläget vilket speglas i fordonsstatistiken som visar att endast 14 nya bränslecellsfordon registrerades i Sverige under 2017 (Transportstyrelsen, 2018b). Eftersom utbudet för både kommersialiserade fordonsmodeller och drivmedelstationer för vätgas i Sverige i dagsläget är mycket begränsat kommer denna fordonstyp inte att tas med i denna rapports fallstudie (Wallmark et al., 2014).

2.1.8 Emissionsfaktorer drivmedel

Emissionsfaktorer anger hur stora utsläpp som sker vid förbränning av en viss bränsletyp. Utsläpp av exempelvis koldioxid beror av bränslets kolinnehåll per volym eller viktenhet. En emissionsfaktor kan antingen vara definierad som mängd direkta utsläpp som sker vid användning eller som ett totalt värde baserat på hela bränslets livscykel. När det gäller emissionsfaktorer för drivmedel är det viktigt att

beakta två huvudsakliga steg i dess livscykel, förbränningssteget och produktion- och distributionssteget. Om emissionsfaktorn beräknas baserat på båda dessa steg inkluderas hela drivmedlets livscykel. Valet av dessa systemgränser kallas även 'Well-to-wheel' (Morfeldt, 2018).

2.2 Tidigare studier med LCA-metodik

2.2.1 LCA-metodik

Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg för att studera och kvantifiera en produkts totala miljöpåverkan genom hela sin livscykel dvs inkluderande råvaruutvinning, transport, produkttillverkning, användning, avfallshantering samt eventuella mellansteg i livscykeln. Med avseende på fallstudien i denna rapport med beräkningar av både totala livscykelutsläpp av växthusgaser och totala ägandekostnader har denna metodik tillämpats med beräkning för kostnader och utsläpp uppdelade för varje del av dess livscykel och sammanräknade. Användningsfasen motsvarar för denna studie fordonets finansieringsperiod (Carlson and Pålsson, 2011).

2.2.2 Sammanställning av tidigare studier

Även om ingen tidigare studie på en specifik fordonspark har hittats finns det flertalet tidigare studier som har berört liknande frågeställningar som i denna rapport. I en rapport av Hall och Lutsey (2018) genomfördes en granskning av en mängd tidigare studier (2011-2017) som har undersökt växthusgasutsläpp till följd av produktion av litiumjonbatterier för eldrivna fordon. Detta sattes sedan i en livscykelkontext där totala livscykelemissioner av koldioxidekvivalenter presenterades för elfordon och laddhybridfordon för olika europeiska länder. Resultatet jämfördes sedan med ett genomsnittligt nytt konventionellt fordon (med förbränningsmotor) inom EU samt det mest utsläppseffektiva tillgängliga konventionella fordonet år 2017 (Peugeot 208 1.6 BlueHDi Active 5dr). Resultatet visade på stora variationer beroende på vilket lands elmix som valts men trots detta att ett medelvärde av de studerade elektriskt drivna fordonen i de olika europeiska länderna gav lägre livscykelemissioner än det mest utsläppseffektiva konventionella fordonet. Samma resultat gällde även för laddhybriden trots något större utsläpp. En känslighetsanalys för batteritillverkningen genomfördes även där totala livscykelemissioners variation undersöktes med hänsyn till bland annat olika batteristorlekar samt batteriåtervinning (Hall and Lutsey, 2018).

I en amerikansk studie modellerades framtida förväntad sammansättning av den privata fordonsparken i Austin, Texas. En utförd opinionsundersökning visade

bland annat att en majoritet var för införandet av en bonus för miljöbilar. Modelleringen över 25 år visade att totala körda mil förväntas öka samt att andelen hybridfordon och Smart Cars beräknas utgöra 25 % av den totala fordonsparken (Musti and Kockelman, 2011).

En brittisk rapport av Macbeth (2012) ger mycket översiktlig information och rådgivning om hur organisationer och företag kan gå tillväga för att implementera och upprätta principer för en hållbar fordonspark. I rapporten illustrerar författaren hur en hållbar fordonspark kan leda till bland annat minskade drivmedelskostnader. Samtidigt medför en hållbar fordonspark lägre utsläpp av växthusgaser och bidrar till att företaget uppnår eventuella miljömål eller miljöcertifieringar samt bidrar till att företaget får möjlighet att visa sig i framkant i sitt miljöarbete, vilket är av växande betydelse för många kunder (Macbeth, 2012).

I ett examensarbete från Mälardalens Högskola av Burstein (2018) undersöktes huruvida eldrivna fordon har potential att bli en ekonomiskt lönsam investering. En fallstudie genomfördes på Region Västmanland där data samlades in genom intervjuer. Beräkningarna genomfördes ur ett livscykelperspektiv där kostnader från inköp till andrahandsförsäljning bestämdes. Resultatet visade att eldrivna fordon i många fall har potential att bli en ekonomiskt lönsam investering men att det beror på fordonets totala körsträcka (Burstein and West, 2018).

Ett annat examensarbete från Lunds Universitet av Nilsson (2016) genomförde en miljöstudie av eldrivna fordon i Sverige ur ett livscykelperspektiv. Resultaten visade att både fullständigt eldrivna fordon och laddhybrider släpper ut betydligt mindre växthusgaser under sin livscykel jämfört med motsvarande dieseldrivna eller bensindrivna fordon. En känslighetsanalys som också genomfördes visade att val av elmix var den viktigaste påverkande faktorn på de totala livscykelemissionerna (Nilsson, 2016).

2.3 Bakgrund till lagar och regler för vägfordon

2.3.1 EU:s standardtest för utsläpp

Inom EU:s fordonsindustri implementeras en körcykel för varje individuell fordonsmodell, vilket i allmänhet innebär ett test av ett fordonets hastighetsvariation över tid och mäts i ett laboratorium. Syftet med testet är att kunna beräkna fordonets bränsleförbrukning och föroreningsutsläpp på ett normerat sätt som gör att det är möjligt att jämföra dessa data mellan olika fordonstyper och modeller (Kågeson, 1998).

Inom EU används sedan 1996 körcykeln NEDC som standard för typgodkännande av lätta fordon vilket inkluderar personbilar och lätta lastbilar. Denna körcykel som utvecklades under 80-talet grundar sig i sin tur på tidigare testmetoder från 60- och 70-talen. NEDC har kritiserats mycket genom åren för dess oförmåga att representera realistiska körmönster, främst med tanke på att NEDC utvecklades när fordon var både lättare och mindre kraftfulla än dagens fordon på marknaden samt att körmönstret var annorlunda. Denna kritik har dessutom blivit alltmer framträdande de senaste åren i takt med den kontinuerliga teknikutvecklingen. Körcykeln har även kritiserats för att ha kryphål i samband med bestämning av emissioner genom att ge biltillverkare möjlighet till modifiering av mätmetoder för att få minskade emissioner i testen. Den 1 september 2017 infördes därför den nya körcykeln Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure (WLTP) vilken gällde för samtliga nyregistrerade fordon i Sverige från och med den 1 september 2018. WLTP utvecklades som ett FN-projekt och är ämnat för att tillämpas globalt. De viktigaste skillnaderna mellan NEDC- och WLTP-normen är att den senare pågår i 30 minuter istället för 20 minuter vilket motsvarar mer än fördubblad körsträcka. WLTP når också högre medel- och maxhastigheter samt har en mer dynamisk körning för att ge ett mer realistiskt körmönster som ska motsvara dagens trafik. Genom införandet av denna nya körcykel ställs högre krav på biltillverkarna och leder även till att emissionssiffror för koldioxid vid drift för olika fordonstyper som tidigare har följt NEDC ökar i många fall. Dessutom påverkas räckvidden för el-drivna fordon vilket för WLTP förväntas bli kortare. I Tabell 1 syns relationen mellan emissionssiffror för WLTP och NEDC för olika fordonstyper (Tsiakmakis et al., 2017).

Tabell 1: Relationen mellan emissionsfaktorer för WLTP och NEDC för olika fordons-/drivmedelstyper (Tsiakmakis et al., 2017)

Personbilar	Ratio WLTP/NEDC
Fordon med förbränningsmotor	1,21
Bensin	1,22
Diesel	1,20
Fordonsgas	1,36
Elhybrid/Bensin	1,31
Elhybrid/Diesel	1,34
Laddhybrid	1,00
Elfordon/Bränslecellsfordon	1,28

2.3.2 EU:s utsläppsklasser

Euroklasser (Euro emission standards) är ett system för att ställa krav på fordons avgasutsläpp inom EU. De utsläpp som regleras av euroklasserna är kolmonoxid, kolväten, kväveoxider samt luftburna partiklar. Koldioxid regleras ej i euroklasserna och de är därför inte direkt kopplade till syftets omfattning i denna rapport. Euroklasserna har dock indirekt en viktig betydelse för valet av fordonsparkens sammansättning i framtiden eftersom potentiella införanden av miljözoner styr vilka euroklasser som kommer vara tillåtna inom dessa zoner, vilka kan komma att variera geografiskt från en särskild stadsdel till att omfatta en hel stad. Kraven på euroklass varierar beroende på när fordonet är registrerat och högre klassnummer innebär högre krav. I Tabell 2 framgår vilket registreringsår som motsvarar minimikravet för fordonets euroklass (Healy, 2017).

Tabell 2: Samtliga euroklasser för fordon inom EU samt datumet då minimikravet började gälla (Healy, 2017)

Euroklasser	Datum då kravet började gälla
Euro 1	1 januari 1993
Euro 2	1 januari 1997
Euro 3	1 januari 2001
Euro 4	1 januari 2006
Euro 5	1 januari 2011
Euro 6	1 september 2015

Europaparlamentet beslutade 2017 dessutom att skärpa kraven för koldioxidutsläpp för lätta fordon. De nya kraven innebär att utsläppen måste minska med 15 % till 2025 respektive 30 % till 2030 jämfört med 2021 års nivåer. Uttryckt enligt NEDC innebär det senare en gräns på 66,5 g CO_2 /km (Regeringskansliet, 2017b).

2.3.3 Bonus-Malussystemet för lätta fordon

Den 1 juli 2018 infördes det s.k. Bonus-malussystemet för nyregistrerade lätta fordon i Sverige efter beslut av regeringen med syfte att öka andelen fordon med lägre koldioxidutsläpp. Detta system innebär att de fordon som har låga koldioxidutsläpp får en bonus medan de fordon som har höga utsläpp får förhöjd fordonskatt. Fordon med förbränningsmotor som kan drivas med alternativa drivmedel får ingen förhöjd skatt. Under en övergångsperiod beslutades också att NEDC ska ligga till grund för fordonsbeskattningen enligt bonus-malussystemet. Det förväntas sedan ske en övergång till WLTP den 1 januari 2020 och då kan eventuella nivåer justeras för att presentera de mest realistiska utsläppen (Regeringskansliet, 2017a). Bonusen tillämpas på fordon som har ett maximalt utsläpp i drift på 60 g CO_2 /km där bonusen ökar med lägre utsläppsvärde, dock med en maximal bonus på 60 000 kr. Malus tillämpas på fordon som inte drivs av ett alternativt drivmedel samt släpper ut mer än 95 g CO_2 /km där den förhöjda fordonskatten ökar med ökat utsläppsvärde (Transportstyrelsen, 2018a).

2.3.4 Sveriges miljözoner

Den 30 augusti 2018 fattade regeringen beslut om miljözoner i Sverige vilket innebär att två nya typer av miljözoner införs och att möjlighet ges till kommuner

att införa dessa från och med 1 januari 2020. Redan idag kan kommuner besluta om att införa Miljözon 1 vilket förbjuder tunga fordon som inte uppfyller kraven enligt Euro 5 eller Euro 6 att köra inom zonen. Från och med 2021 förbjuds även tunga fordon som uppfyller kraven för Euro 5 (Regeringskansliet, 2018).

Kommuner kan besluta om att införa Miljözon 2 från och med 1 januari 2020. Det skulle innebära ett förbud för samtliga fordon som inte uppfyller kraven enligt Euro 5 eller Euro 6 att köra inom zonen. Från och med 2022 förbjuds även diesel-fordon som uppfyller kraven för Euro 5 (Transportstyrelsen, 2018e).

Kommuner kan besluta om att införa Miljözon 3 från och med 1 januari 2020. Miljözon 3 har det högsta kravet vilket skulle innebära att endast elfordon, bränslecellsfordon och gasdrivna fordon som uppfyller kraven för Euro 6 tillåts att köra inom zonen oavsett lätta eller tunga fordon. För tunga fordon får även laddhybrider köra om de uppfyller kraven för Euro 6 (Transportstyrelsen, 2018e).

2.3.5 Förutsättningar och potential för laddbara och alternativa fordon i Sverige

År 2018 bestod Sveriges laddinfrastruktur av drygt 1300 publika laddstationer med drygt 5000 laddningspunkter som utgörs av olika typer av kontakter med olika effekt. För att kunna öka antalet laddbara fordon i Sverige så mycket som det förväntas göra krävs att det finns en väl fungerande laddinfrastruktur som är geografiskt täckande och består av både publika och icke-publika laddstationer med olika laddeffekter för ändamålet. Energimyndigheten har därför fått i uppdrag av regeringen att vara nationell samordnare för laddinfrastruktur (Lewald and Wikström, 2018).

Laddstationer som är publika innebär laddstationer som är placerade där vem som helst kan använda dem, exempelvis längs landsvägar, i parkeringshus, vid köpcentrum, eller vid resecentrum. Icke-publika laddstationer är de som används privat vid arbetsplatsen eller av boende vid bostaden. Ca 80-90 % av elbilsladdningar sker vid icke-publika laddningsstationer och eftersom majoriteten av alla personbilar i Sverige står parkerade 23 timmar om dygnet är det därför viktigt att dessa parkeringsplatser utrustas med laddstationer för att möjliggöra ökandet av laddbara fordon (Lewald and Wikström, 2018).

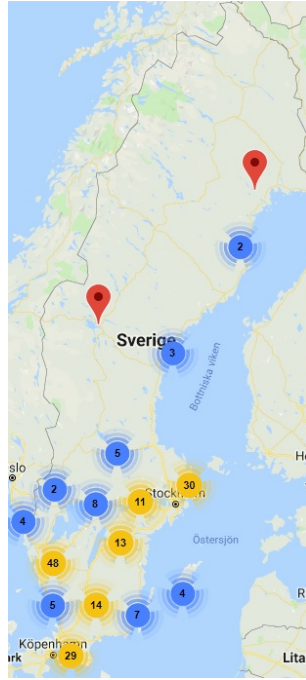
Så kallade snabbladdare är tänkta att fungera som räckviddsförlängare för elfordon som inte har tid för normalladdning, vilket vanligtvis tar flera timmar och sker vid exempelvis arbetsplatsen eller bostaden. Samtliga elfordon som i dagsläget finns

på marknaden har i regel en räckvidd på minst 80 km i motorvägsfart men för att uppnå ett robust och välfungerande nät av laddinfrastruktur för snabbladdare rekommenderas ett maximalt avstånd på 50 km mellan laddpunkterna. Från beräkningar för minimiräckvidd har det framgått att det i dagsläget saknas snabbladdmöjligheter inom flertalet områden på landsbygden i mellersta och södra Sverige. Många av dessa områden planeras dock med hjälp från regeringens klimatsatsning, det så kallade Klimatklivet, att byggas ut vilket förväntas försluta många av dessa luckor i laddinfrastrukturen (Bergman, 2018). Vissa områden förväntas dock efter de planerade snabbladdarna fortfarande ha luckor i laddinfrastrukturen, exempelvis mellan Linköping och Örebro, södra Östergötland samt norra delen av Örebro Län. Därför finns rekommendationer att stärka laddinfrastrukturen genom att i två etapper upprätta först fler snabbladdare i korridorstruktur längs de mest trafikerade vägarna och sedan upprätta flera korridorer med snabbladdare längs vägar med något mindre trafikflöden. Resultatet skulle innebära att nästintill samtliga områden i mellersta och södra Sverige får en fullständig geografisk täckning av laddinfrastruktur (Strömfelt and Österqvist, 2017).

2.3.6 Förutsättningar och potential för alternativa drivmedel i mellersta och södra Sverige

Med alternativa drivmedel menas i detta sammanhang de drivmedel som nämns i Tabell 5 med konventionell diesel och bensen borträknade då dessa normalt finns tillgängliga vid drivmedelsstationer i Sverige. De biodrivmedel som studeras i denna rapport finns tillgängligt vid drivmedelsstationer runtom i hela landet utan särskild begränsning (OKQ8, 2018)

För fordonsgas finns det drivmedelsstationer över hela landet men med koncentration längs syd- och västkusten samt längs de mest trafikerade vägarna mellan Stockholm, Göteborg och Malmö. Stora delar av Norrlands inland saknar dock infrastruktur för fordonsgas. För de kommande åren planeras fortsatt utbyggnad av infrastrukturen för alternativa drivmedel finansierat av både Klimatklivet men även fonden för ett sammanlänkat Europa (Regeringskansliet, 2016). Figur 2 illustrerar översiktligt tillgången på drivmedelsstationer för fordonsgas i Sverige.



Figur 2: Översiktlig illustration över drivmedelstationer för fordonsgas. Blåa markeringar innebär fler än en station och gula markeringar innebär fler än tio stationer (Energigas Sverige, 2019)

3 Metod och genomförande

Examensarbetet innehöll inledningsvis en litteraturstudie som syftade till att undersöka tidigare studier som har behandlat problem inom liknande ämnesområde samt att ge en teoretisk bakgrund inom ämnet som återkopplas senare i rapporten. Utgångspunkten var att leta efter tidigare studier som har undersökt klimatpåverkan genom utsläpp av växthusgaser från transporter i ett organisationssammanhang och de eventuella effektiviseringar som är möjliga med avseende på energianvändning och koldioxidutsläpp. Dessutom planerades litteraturstudien att inriktas på eventuella tidigare LCA-studier av fordon med alternativa drivmedel samt fallstudier som har använt liknande metodik för analys och beräkning av växthusgasutsläpp. Information eftersöktes främst det digitala arkivet DiVA samt genom tjänsten Google Scholar bland annat med sökorden LCA, hållbar fordonspark, alternativa drivmedel.

3.1 Bakgrund till företaget, existerande bilpolicy/miljömål samt fordonsparkens sammansättning

Med anledning av sekretess är referens för samtlig information under rubrik 3.1 (Personlig information, 2018).

Fallstudien i denna rapport genomfördes på ett företag inom materialhanteringsbranschen i Sverige och har en fordonspark bestående av servicefordon och tjänstefordon tillhörande kontor runtom i landet. Fordonsparken används som transportmedel för att nå ut till sina kunder för service samt vid tjänsteresor. Företaget använder fordonen i stort sett geografiskt täckande från södra Sverige upp till Gävle med huvudsakliga körmönster mellan kontoren i Malmö, Jönköping, Göteborg, Linköping, Skövde, Örebro, Stockholm, Gävle. Fordonsparken består i dagsläget till 22 % (62) av tjänstefordon och 78 % (220) servicefordon där ca 70 % av fordonen uppskattas användas för stadskörning och 30 % övrig landsväg. Sammansättningen fordon i fordonsparken har en viss variation där företaget använder fordon som varierar från olika typer av personbilar till skåpbilar av tre huvudkategorier enligt Tabell 4 och Figur 1. Fordonen som används för service lastar vanligtvis utrustning som behövs i samband med underhåll och reparationer av företagets produkter och storlek på bilen väljs därför oftast beroende på ändamålet.

Företaget tillhandahåller två typer av fordon för sina anställda: servicefordon och tjänstefordon. Servicefordonen erbjuds till de anställda som är i behov av fordon för att utföra sina uppdrag inom företaget och tillåts bara att användas inom

tjänsten. Fordonens drivmedel samt eventuella service- och reparationskostnader som skulle vara nödvändiga för fordonen betalas av företaget.

Företaget erbjuder även tjänstefordon till anställda medarbetare vid behov för tjänsten samt som en förmån för anställda som tex affärsområdeschefer och företags VD. Företaget har en bilpolicy för tjänstefordon som innebär att fordon med motorer som drivs med diesel får ha en bränsleförbrukning vid blandad körning på maximalt 0,6 liter/mil och koldioxidutsläpp om högst 160 g/km. Fordonets motor får dessutom högst ha en effekt på 260 hk. Fordonens drivmedel samt eventuella service- och reparationskostnader som skulle vara nödvändiga för fordonen betalas av företaget. För privata resor gäller dock att drivmedlet är en skattepliktig förmån som tas med i beskattning varje månad. Tjänstefordonen är en förmån och får till skillnad från servicefordonen användas för privat körning av den anställda och dennes familj. Modeller för service- och tjänstefordon som ingår i företags policy i dagsläget presenteras i Tabell 3.

Tabell 3: Tillåtna modeller som ingår i företags policy i dagsläget

Modeller - Servicefordon	Modeller - Tjänstefordon
VW Caddy	Volvo: V40, V60, S60, V90, S90, XC60
VW Caddy Maxi	Skoda: Octavia, Rapid, Yeti, Superb, Kodiaq
VW Transporter	Volkswagen: Golf, Passat, Tiguan, Touran, Sharan
MB Vito 113 CDI lång (alternativ högtak)	Audi: A3, A4, A5, A6, Q2, Q3, Q5,
MB Sprinter 316 CDI	BMW: 2-serie Gran/Active Tourer, 3-serie

Den anställda har möjlighet att själv välja tjänstefordon baserat på egna behov och preferenser. Fordon med enbart el- eller elhybridteknik kan eventuellt väljas. Om sådant fordon önskas avgör företaget från fall till fall om det rymms inom ramen för företags policy. Företaget har i dagsläget elavtal som har ursprungsmärkt grön el.

Fordonsparkens sammansättning består i dagsläget uteslutande av dieseldrivna fordon för både servicefordonen och tjänstefordonen med undantaget att företaget har tre laddhybrider(/bensin) bland tjänstefordonen. Fordonen finansieras genom en leasing som innebär en månadskostnad med ränta över en treårig period för nya tjänstefordon respektive en femårig period för nya servicefordon. När finansieringsperioden är över betalas ett eventuellt restvärde varpå företaget blir ägare av fordonet. Slutligen säljer företaget fordonet i andrahand.

Företagets miljömål är att för varje år sänka fordonsparkens genomsnittliga kol-

dioxidutsläpp med 3 % jämfört med föregående år, där koldioxidutsläpp uttrycks som gram utsläpp per kilometer i drift och baseras på NEDC-körcykeln vilken beskrivs under 2.3.1. Enligt företagets egen uppskattning åker tjänstefordonen i snitt 20 000 km per år och servicefordonen 30 000 kilometer per år vilket innebär på 60 000 km för ett tjänstefordon och 150 000 km för ett servicefordon över hela utbytesperioden.

3.2 Presentation av dataunderlag för drivmedelstyper

De fordonskategorier som studerades i denna rapport baseras på företagets fordonspark och är i huvudsak personbilar samt transportfordon (lätta lastbilar) av olika storlekar. Mer specifikt kan fordonstyperna delas in i fyra kategorier baserat på sammansättningen av företagets fordonspark. Dessa kategorier presenteras i Tabell 4. För närmare illustration se Figur 1

Tabell 4: De fyra kategorierna av fordon som innefattas av företagets fordonspark

Fordonsparkens kategorier	Fordonstyp
Tjänstefordon	Personbil
Servicefordon - Liten	Liten skåpbil
Servicefordon - Mellan	Mellanstor skåpbil
Servicefordon - Stor	Stor skåpbil

För att kunna genomföra olika jämförelser mellan drivmedel som är vanliga i dagsläget och andra drivmedel som utgör realistiska alternativ och finns på marknaden har särskilda val av drivmedel som anses vara aktuella med avseende på bland annat förväntad miljömässig effekt, utbud och kostnad gjorts. De drivmedel från fordon med förbränningsmotorer som valdes att studeras i denna rapport baserades på litteraturstudien. Dessa drivmedel samt emissionsfaktorer för deras produktion, distribution och förbränning presenteras i Tabell 5 och Tabell 6. Emissionsfaktorerna är presenterade av Trafikverket och beräknade av Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2017b)

Tabell 5: Emissionsfaktorer för drivmedel från fordon med förbränningsmotorer vid förbränning (Trafikverket, 2017a).

Drivmedel	Koldioxidutsläpp [kg CO_2 /l drivmedel] vid förbränning
Konventionell diesel	2,54
Biodiesel - B25,5 (25,5 % inblandning av FAME/HVO)	1,89
Konventionell bensin	2,36
Bensin (E4,8)	2,25
Fordonsgas (genomsnittlig)	0,53 (kg/kg)

Tabell 6: Emissionsfaktorer för drivmedel från fordon med förbränningsmotorer för produktion och distribution (Trafikverket, 2017a).

Drivmedel	Klimatpåverkan [kg CO_2 -ekv/l drivmedel]
Konventionell diesel	0,6
Biodiesel - B25,5 (25,5 % inblandning av FAME/HVO)	0,66
Konventionell bensin	0,52
Bensin (E4,8)	0,52
Fordonsgas (genomsnittlig)	0,73 (kg/kg)

Emissionsfaktorer för drivmedel för elfordon, elhybridfordon och laddhybridfordon beror bland annat mycket på hur elen som används produceras. Därför genomförs beräkningar baserat på vissa antaganden för hur elen produceras samt var den kommer ifrån. I Tabell 7 presenteras emissionsfaktorer för de olika elmixar som anses vara relevant att undersöka i denna rapport.

Tabell 7: Emissionsfaktorer för el med olika ursprungsmärkning (Svensk Energi, 2012), (Elforsk, 2006).

Ursprungsmärkning av el	Växthusgasutsläpp [g CO_2 -ekv/kWh]
Nordisk elmix	85,8 *
Svensk elmix	10
Europeisk elmix	415

* - Medelvärde av emissionsfaktorer för åren 2007-2011.

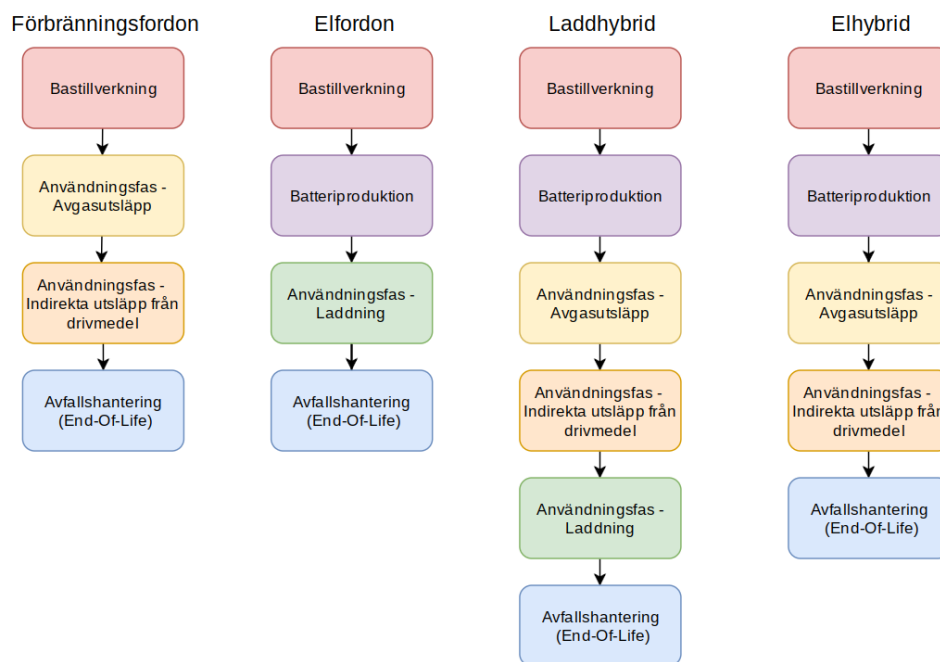
Sveriges produktion av el från förnybara energikällor har ökat de senaste 10 åren och trenderna visar på en trolig fortsatt utveckling den närmaste framtiden inom detta område (Energiföretagen, 2017). Det är därför troligt att ett medelvärde av siffrorna från tidigare nämnda SABO:s rapport är ett rimligt antagande av den nordiska elmixen de kommande åren (Holm, 2013).

3.3 Fallstudie

I denna rapport genomfördes en fallstudie som baserades på den teoretiska bakgrunden och information som hittades under litteraturstudien. Fallstudien innebär dels en analys av livscykelemissioner av växthusgaser och dels en analys av totala ägandekostnader från samtliga valda fordons-/drivmedelstyper presenterat i de olika fordonskategorierna vilka är knutna till det studerade företags fordonspark.

3.3.1 Analys av växthusgasemissioner

En översikt av de delar som tagits i beräkning för växthusgasutsläppen av fordons livscykel presenteras i Figur 3.



Figur 3: Delar av livscykeln presenterade för olika typer av fordon.

Bastillverkningen för fordonet innebär produktionen av en teoretisk grundkaross med samtliga tillbehör som krävs för drift men som ej inkluderar litiumjonbatteri (för eldrivna fordon) och antas vara densamma för alla fordonskategorier. Flertalet studier ((Nordelöf et al., 2014); (Hall and Lutsey, 2018)) har genomfört beräkningar på liknande typ av bastillverkning för fordon av olika slag och resultatet tyder på att variationen mellan de olika fordonstyperna med avseende på bastillverkningen ger ett försumbart utslag på de totala livscykelutsläppen av växthusgaser. Därför antogs bastillverkningen i denna studie ge upphov till lika stora utsläpp för samtliga drivmedel i alla fordonskategorier. Utsläppsvärdet för bastillverkningen av fordonen uppskattades från figur ur studien av Hall och Lutsey (2018) till 6000 kg CO_2 -ekv, där bastillverkningen av fordon med förbränningsmotor och elfordon endast antogs skilja sig åt genom den batteriproduktion som också krävs för elfordonen av ovanstående motivering.

Utsläppen av växthusgaser vid batteritillverkningen innebär utsläpp som uppstår i samband med produktion av de litiumjonbatterier som behövs för fordon som drivs av elmotorer. Detta utsläpp beror bland annat av storleken på batteriet som krävs för fordonet vilket varierar mellan kategorier av eldrivna fordon. Därför beräknades ett genomsnitt av batteristorleken för varje kategori i Tabell 4. Dessutom valdes tre olika batteristorlekar för eldrivna tjänstefordon för att undersöka om oli-

ka typer av eldrivna fordon har någon betydande inverkan på de totala utsläppen av växthusgaser samt för att ge möjlighet till alternativ på fordon med olika räckvidder. Batteristorlekar och elförbrukning beräknades genomsnittligt inom varje fordonstyp för eldrivna tjänstefordon, små eldrivna servicefordon, laddhybrider och elhybrider. Eftersom laddhybrider med bensin utgör mer än 93 % av samtliga laddhybrider och dessa har ett lägre värde för koldioxidutsläpp uteslöts laddhybrider med diesel ur denna rapport (Transportstyrelsen, 2018b). Livscykelsteget som beräknar batteriproduktionen anges som ett separat steg i livscykeln eftersom det förväntas medföra en betydande del av de totala livscykelutsläppen för eldrivna fordon. Använda källor för batteristorlekar för de olika fordonstyperna presenteras i Tabell A1 i Appendix. Precis som i rapporten av Hall och Lutsey (2018) valdes medelvärdet från IVL:s rapport (Romare & Dahllöf, 2017) på 175 kg CO_2 -ekv/kWh som emissionsfaktor för batteriproduktionen i fallstudiens grundscenario.

Användningsfasen delades upp i två steg för fordon med förbränningsmotor där det första anger de direkta emissioner i form av koldioxidutsläpp som sker vid förbränning av bränslet vid drift. Det andra steget anger de indirekta emissioner som uppstår genom produktion och distribution av drivmedlet. Det första steget beräknades genom genomsnittliga utsläppsvärden vid drift för dieseldrivna/bensindrivna servicefordon angivna i g CO_2 -ekv/km (Vehicle Certification Agency, 2018) och för samtliga personbilar (Transportstyrelsen, 2018b). Eftersom fordon drivna med fordonsgas har ett steg i livscykeln som binder koldioxid (i produktionsfasen) beräknades samtliga driftemissioner i ett steg (Miljöfordon, 2018). Det andra steget av användningsfasen för förbränningsfordon beräknades genom emissionsfaktorerna i Tabell 5 och Tabell 6 samt förbrukningsstatistik för fordonen. För biodiesel och biobensin beräknades dock båda stegen av användningsfasen med denna metod. För fordon drivna med fordonsgas tillkommer en faktor på 1,2 för omvandling av m^3 till kg för fordonsgas (Krafringen, 2018). Referenser för förbrukningsstatistik för samtliga fordonstyper ses i Tabell A1 i Appendix.

Användningsfasen för eldrivna fordon utgörs av de indirekta utsläppen av växthusgaser som produktionen av el för driften av elmotorn ger upphov till. Detta steg beror av hur mycket batteriet behöver laddas och det ger även upphov till olika stora utsläpp beroende på vilken elmix som antas. För grundscenariot i denna rapport antogs en nordisk elmix.

Det sista steget är avfallshanteringen av fordonet vilket antas vara gemensamt för samtliga fordonstyper. Detta steg i livscykeln är ett steg som tidvis utesluts i LCA-studier ((Hall and Lutsey, 2018); (Samaras and Meisterling, 2008)) av anledningen att det inte bedöms ha någon betydande inverkan på livscyklemissioner av växt-

husgaser samt att det medför stora osäkerheter. På grund av den snabba tillväxt under kort tid för eldrivna fordon är det i dagsläget svårt att bedöma i vilken utsträckning återvinning av batterier förväntas ske eftersom detta fortfarande är i ett tidigt skede. För att kunna avgöra om avfallssteget har en betydande inverkan på livscykelemissioner av växthusgaser för denna fallstudie har utsläppsvärdet valts från studien av Aguirre m.fl. (2012) som kvantifierar detta livscykelsteg till 734 kg CO_2 -ekv. Eftersom inga tidigare undersökta studier har lagt särskild vikt vid fordonstyp med avseende på avfallssteget samt att totala inverkan bedöms vara liten antas därför samtliga fordonstyper medföra lika stora emissioner till följd av detta steg.

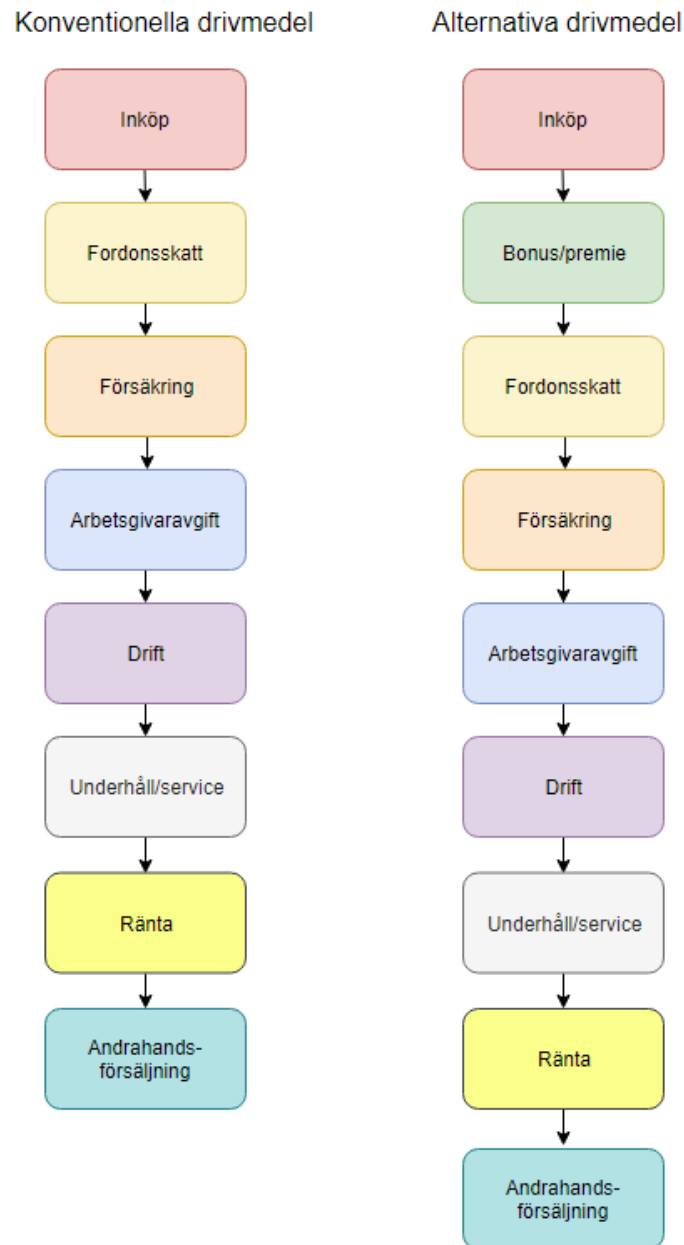
3.3.2 Beräkning av livscykelemissioner av växthusgaser

Livscykelemissioner av växthusgaser beräknades för samtliga kommersiellt introducerade typer av alternativa drivmedel som presenterades i litteraturstudien samt för de fossila alternativen. För varje kategori i Tabell 4 undersöktes vilka typer av alternativa drivmedel som finns kommersiellt tillgängliga samt hade tillgänglig utsläppsstatistik varpå samtliga steg i livscykeln enligt Figur 3 kunde beräknas för att få ett slutvärde för livscykelemissioner av växthusgaser.

Livscykelemissioner av växthusgaser beräknades även för varje individuellt fordon i företagets fordonspark genom att beräkna varje steg av livscykeln som för de nya alternativen med undantaget för driftutsläppen som beräknades genom givna utsläppsvärden för varje individuellt fordon i fordonsparken (i kg CO_2 /km). En jämförelse kunde sedan göras för varje fordonskategori genom erhållna slutvärden av livscykelemissioner av växthusgaser. Dessutom kunde en jämförelse också genomföras mot de nya alternativen genom att jämföra slutvärden från samtliga enskilda fordon i fordonsparken mot slutvärden från de nya alternativen för varje fordonskategori.

3.3.3 Analys av kostnader

Kostnadsanalysen syftade till att uppskatta magnituden av de kostnadsskillnader som existerar mellan de fordons- och drivmedelstyper som studeras i denna rapport. Den förväntades även kunna ge en första inblick i hur stora kostnadsskillnader som skulle kunna uppstå vid förändring av sammansättningen av en viss fordonspark till att innehålla större andel fordon med alternativa drivmedel. En översikt av de steg som tagits i beräkning för de totala ägandekostnaderna för ett fordon presenteras i Figur 4.



Figur 4: *Delar av livscykeln presenterade för olika typer av fordon.*

Inköpssteget innebär inköpskostnaden för fordonet. Utgångspunkten har varit att använda medelvärdet av kostnaderna för de fordon som använts för analysen av växthusgasemissioner, för varje kategori, och därmed motsvara fordon med det beräknade utsläppsvärdet. Företaget erhåller dessutom en inköpsrabatt för fordon

(Tabell 8)

Tabell 8: De fyra kategorierna av fordon som innefattas av företagets fordonspark med deras inköpsrabatter (Personlig information, 2018).

Fordonskategori	Rabattstorlek
Tjänstefordon	11 % av ordinarie inköpspris exkl. moms
Servicefordon - Liten	12 % av ordinarie inköpspris exkl. moms
Servicefordon - Mellan	14 % av ordinarie inköpspris exkl. moms
Servicefordon - Stor	20 % av ordinarie inköpspris exkl. moms

Fordonsskattens kostnad beror på utsläppsvärdet i drift enligt NEDC samt vilken typ av drivmedel fordonet har. En grundkostnad för samtliga fordon är 360 kr/år. För dieseldrivna fordon tillkommer ett fast miljötillägg på 250 kr/år samt ett bränsletillägg som beräknas genom att multiplicera utsläppsvärdet enligt NEDC med en faktor 13.52. Utöver detta gäller även att fordon som har ett utsläpp på mer än 95 g CO_2 /km får en höjd fordonsskatt (malus) under de tre första åren vilket innebär en årskostnad på 82 kronor per gram över 95 g CO_2 /km. Har fordonet ett utsläppsvärde på över 140 g CO_2 /km ökas dessutom denna kostnad till 107 kronor per gram för varje gram över 140 g CO_2 /km. För alla övriga år gäller att grundbeloppet av fordonsskattens kostnad per år för fordon med fossilt drivmedel är 22 kr för varje gram över 111 g CO_2 /km som fordonets utsläppsvärde har. För fordon med alternativa drivmedel är kostnaden 11 kr per gram över 111 g CO_2 /km (Transportstyrelsen, 2018c).

För försäkringskostnader erhöles statistik från företaget och de har beräknats vara 6740 kr/år för servicefordon och 5675 kr/år för tjänstefordon. Samma kostnader har använts vid beräkning av totala ägandekostnader för de nya alternativen (Personlig information, 2018).

Arbetsgivaravgiften är en kostnad för företaget som beror av fordonets bilförmånsvärde vilket bland annat beror av fordonets nypris, om det är ett miljöfordon och hur långt fordonet körs. En översiktlig beräkning har gjorts där inga val om utrustning för fordonet har gjorts. Beräkningen av bilförmånsvärdet kan göras genom att addera summan av A: 9 % av fordonets nypris, B: 31,7 % av nuvarande prisbasbelopp (44 800kr år 2017) och C: 75 % av nuvarande statslåneränta (0,5 % år 2017) multiplicerat med fordonets nypris. Arbetsgivaravgiften per år beräknas

sedan genom att ta 31,42 % av det beräknade bilförmånsvärdet (Amsystem, 2017) .

Driftkostnader beräknades genom att multiplicera drivmedelskostnader för varje enskild drivmedelstyp med varje enskild fordonstyps bränsleförbrukning (Tabell 9).

Tabell 9: Pris för drivmedel för samtliga drivmedelstyper (Preem, 2018), (Circle K, 2018).

Drivmedel	[kr/1 drivmedel]
Konventionell diesel	15,66
Biodiesel - B25.5 (25,5 % inblandning av FAME/HVO)	16,22
Konventionell bensin	15,53
Bensin (E4.8)	16,13
Fordonsgas (genomsnittlig)	18,7 (kr/kg)
Drivmedel	[kr/kWh el]
El	0,56

Statistik om kostnader för underhåll och service erhöles från företaget där kostnaden per år är 7848 kr för små servicefordon, 4452 kr för mellanstora servicefordon och 9372 kr för stora servicefordon. Ingen statistik från företaget fanns tillgänglig för service- och underhållskostnader för tjänstefordon och istället användes generiska värden för dessa kostnader. Detta gällde även de nya alternativen som inte motsvarade fordonsparkens existerande fordonstyper (Söderholm, 2017).

Statistik om räntekostnader erhöles också från företaget. Räntan antogs vara 3,83 % vilket multiplicerades med fordonets inköpskostnad för att få den totala räntekostnaden för fordonet presenterat som en engångskostnad (Personlig information, 2018).

Ett antagande om andrahandsförsäljning av fordon medför stora osäkerheter då beloppet beror av många olika faktorer som bland annat skick, antal körda mil och ålder (Hagman et al., 2016). Värdet vid andrahandsförsäljning av tjänstefordon beräknades ur statistik från företaget. Statistiken bekräftade osäkerheterna då avyttringsvärdet efter tre år varierade mellan 35 % och 56 % av inköpspriset exklusive eventuell bonus. Medelvärdet på 43,4 % användes med hänsyn till en statistisk fördelning som visade sig lämpa sig bäst för användning av medelvärdet.

Detta värde användes för samtliga tjänstefordon i fallstudien och därefter antogs samtliga servicefordon avyttras med ytterligare 9 % av inköpspriset per år vilket innebär ett totalt avyttringsvärde på 25,4 % efter fem år ((Personlig information, 2018); (Haponiuk, 2018)).

3.3.4 Beräkning av totala ägandekostnader

Totala ägandekostnader beräknades precis som för växthusgasemissioner för samtliga kommersiellt introducerade typer av alternativa drivmedel från litteraturstudien samt för de fossila alternativen. På så sätt kunde en total ägandekostnad för varje fordon beräknas genom beräkning av samtliga steg enligt Figur 4 varpå en jämförelse sedan kunde genomföras mellan drivmedel för varje fordonskategori enligt Tabell 4.

För fordonsparken kunde kostnader beräknas genom att statistik för varje enskild modell erhöles från företaget. Totala ägandekostnader kunde sedan uppskattas genom att beräkna ett totalvärde för varje modell vilket sedan kunde jämföras mot de nya alternativen i scenarioanalysen.

3.4 Scenarioanalys

Scenarioanalysen syftade till att undersöka om det finns potential att minska den studerade fordonsparkens totala livscykelutsläpp av växthusgaser och i så fall uppskatta storleken på eventuella minskningar av dessa utsläpp. För att kunna göra detta skapades ett antal scenarier med olika ingångskriterier.

Ett script i programmeringsspråket Python utvecklades för att automatisera processen där samtliga kriterier för varje scenario som definieras under rubrik 3.4.1-3.4.5 implementerades. Genom att köra programmeringsscriptet kunde det lägsta värdet för både livscykelemissioner av växthusgaser och totala ägandekostnader hittas och bytas ut för varje fordonskategori och sedan lagras och sparas ned i form av excelfiler. Se rubrik A.2 i Appendix för koden i sin helhet. I tabell 10 framgår även en kortare beskrivning av de olika scenarierna.

Tabell 10: Sammanfattande beskrivning av samtliga scenarier.

Scenario	Beskrivning av utbytta fordon	Andel utbytta fordon
Scenario 1 (Grundscenario)	Endast fordon vars utbytesperiod utgått, nordisk elmix	51 %
Scenario 1b	Scenario 1, men biodrivmedel uteslöts	51 %
Scenario 1c	Scenario 1, men svensk elmix antogs	51 %
Scenario 1d	Scenario 1c, men europeisk elmix antogs	51 %
Scenario 2 (Det 'sparsamma' scenariot)	Scenario 1 men färre utbytta fordon	10 %
Scenario 3 ('Business as usual')	Scenario 1, men endast konventionella drivmedel	44 %
Scenario 4 (Det 'optimistiska' scenariot)	Ej hänsyn till utbytesperiod	100 %
Scenario 5 (Prioritera kostnader)	Scenario 1, fast kostnader avgjorde utbyte	51 %

3.4.1 Scenario 1: Grundscenario

Eftersom företagets fordon har en utbytesperiod på 3 år för tjänstefordon respektive 5 år för servicefordon valdes grundscenariot till att endast byta ut fordon som förväntas ha nått slutet av sin utbytesperiod, med år 2019 som referensår. Därför byttes samtliga tjänstefordon som har ett inköpsår äldre än 2017 och samtliga servicefordon som har ett inköpsår äldre än 2015. Detta innebär att 145 (51 %) av 282 fordon i företagets fordonspark byttes ut. Ett ytterligare kriterium från företaget innebär att 25 % av servicefordonen som tillhör Region öst, syd eller väst av kategori stor hade möjlighet att bytas till kategori mellan, alltså bytas ned en storlekskategori (förutsatt att detta skulle medföra ett lägre totalvärde för livscykelemissioner av växthusgasutsläpp, annars byttes de inte). I övrigt byttes varje fordon till ett nytt fordon av samma storlek. På samma sätt skapades Scenario 1 för kostnader och på så sätt kunde förändringar av livscykelemissioner och ägandekostnader jämföras.

Tre variationer av Scenario 1 skapades där Scenario 1b motsvarade Scenario 1 med undantaget att biodrivmedlen uteslöts. Scenario 1c motsvarade Scenario 1 med undantaget att en svensk elmix antogs för de eldrivna fordonen som har laddbara batteri. Scenario 1d motsvarade Scenario 1c fast med europeisk elmix.

3.4.2 Scenario 2: Det 'sparsamma' alternativet

I detta scenario byttes färre fordon ut, endast 10 % vilket motsvarar 28 av 282 fordon i företagets fordonspark. Av dessa 10 % byttes dessutom endast fordon vars utbytesperiod hade utgått. Värdet på 10 % antogs med hänsyn till statistik av Trafikanalys som visar att andelen nya personbilar med alternativa drivmedel som

registrerades år 2015 av en juridisk person var knappt 10 % (Saxton, 2017).

3.4.3 Scenario 3: 'Business as usual'

Detta scenario innebär ett möjligt utfall där företaget väljer att byta samtliga fordon mot nya fossila fordon. I detta scenario byttes samtliga fordon där leasingperioden hade gått ut mot bästa fossila alternativ (konventionell diesel eller konventionell bensin), förutsatt att det skulle medföra ett lägre utsläppsvärde.

3.4.4 Scenario 4: Det 'optimistiska' scenariot

I detta scenariot ignorerades huvudkriteriet att endast fordon vars utbytesperiod har utgått tillåts bytas ut. Samtliga fordon i fordonsparken byttes ut, även om perioden inte utgått. Därmed ej i praktiken tillämpbart på företaget från fallstudien men ger en mer allmän teoretisk möjlighet för tillämpning samt visar på ett extremt fall.

3.4.5 Scenario 5: Prioritera kostnader

Förutom fyra scenarier där den styrande faktorn för fordonsutbyte var värdet för livscykelemissioner av växthusgaser skapades även ett scenario där den styrande faktorn var lägsta totala ägandekostnader. Detta gjordes genom att först lista upp fordonsparkens kostnader för enskilda fordon varpå samtliga fordon vars utbytesperiod hade utgått byttes ut, förutsatt att det var möjligt att byta mot ett nytt fordon med lägre totala ägandekostnader. Detta tillämpades på grundscenariot (Scenario 1) där alltså 145 (51 %) av 282 fordon byttes ut förutsatt att det gick att byta varje fordon mot ett lägre värde. På så vis byttes varje fordon i varje kategori mot det billigaste alternativet för motsvarande kategori av de nya fordonen.

För detta scenario tillämpades även kriteriet för servicefordon som innebar att 25 % av fordon som tillhör region öst, syd eller väst av kategori stor kunde bytas till kategori mellan, alltså bytas ned en kategori (förutsatt att detta skulle medföra ett lägre värde för totala ägandekostnader, annars byttes dem inte). I övrigt byttes varje fordon till ett nytt fordon av samma storlek.

En variation av Scenario 5 skapades där Scenario 5b motsvarade Scenario 5 med undantaget att eldrivna fordon med batteristorlek på 18,7 kWh uteslöts. Detta med hänsyn till att dess korta räckvidd gör att denna fordonstyp eventuellt inte är fullt praktiskt funktionell i vissa fall.

3.5 Känslighetsanalys

För att undersöka robustheten samt för att kunna bedöma vikten av olika parametrar i fallstudiens resultat genomfördes en univariat känslighetsanalys där ingående livscykelparametrar varierades baserat på kända osäkerheter. Denna metod gör det möjligt att studera känsligheten för variationer av enskilda livscykelparametrar. Den huvudsakliga begränsningen är att det inte går att ta hänsyn till korrelationer mellan flera livscykelparametrar och dess variationer.

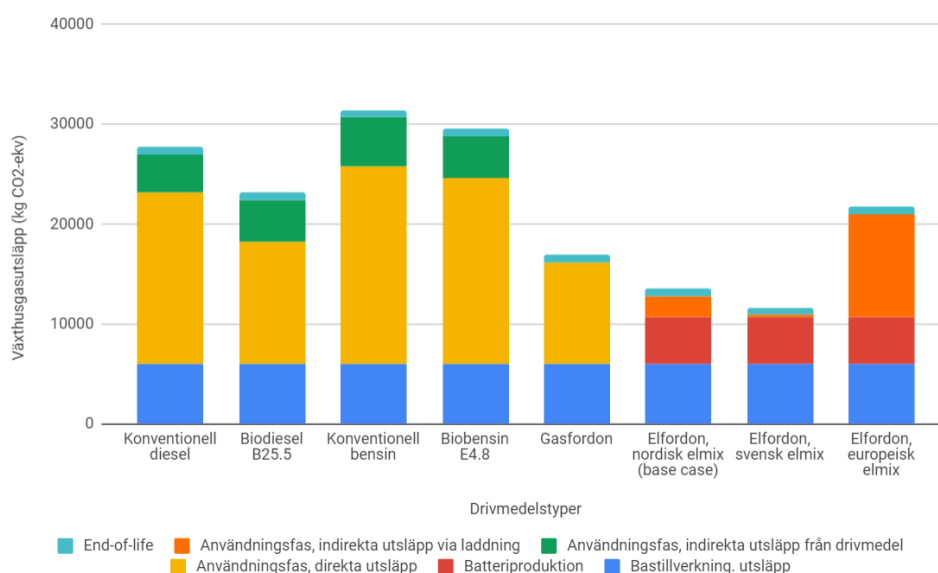
Eftersom flertalet studier har visat på olika stora utsläpp vid produktion av litiumjonbatteri för eldrivna fordon existerar det stora osäkerheter vid kvantifiering av dessa och därför genomfördes en känslighetsanalys med hänsyn till dessa osäkerheter ((Hall and Lutsey, 2018) (Romare and Dahllöf, 2017)). Detta gjordes genom att variera de beräknade emissionerna för batteriproduktionen med $\pm 30\%$ och skapa en graf där varje punkt motsvarade en procentuell förändring från grundscenariot. På samma sätt genomfördes känslighetsanalysen för samtliga övriga individuella steg i livscykeln för växthusgasemissioner för att inkludera fler eventuella osäkerheter och variationer. För analysen av växthusgaser undersöktes även hur resultatet skulle påverkas vid en förväntad övergång till WLTP med förändrade emissionsfaktorer i drift så som det presenterades i Tabell 1.

För kostnadsanalysen genomfördes en känslighetsanalys på samma sätt som för analysen om växthusgasemissioner där varje individuellt steg i livscykeln varierades med $\pm 30\%$ och resultatet utvärderades. En känd osäkerhet gäller avyttringsvärdet för fordon vilket varierades i känslighetsanalysen med hänsyn till statistik från företagets andrahandsförsäljning av tjänstefordon. Till skillnad från i fallstudien där medelvärdet för avyttringsvärdet användes som grund för analysen undersöktes i detta fall inverkan på de totala ägandekostnaderna vid val av avyttringsvärdet till att inkludera max- respektive minvärdet beräknat ur företagets statistik av andrahandsförsäljning.

4 Resultat

Fordon som drivs med konventionell bensin beräknas medföra det högsta värdet för livscykelemissioner av växthusgaser samtidigt som eldrivna fordon medför det lägsta utsläppsvärdet (Figur 5). De direkta avgasutsläppen är det överlägset mest bidragande livscykelsteget för fordonen med förbränningsmotorer. För eldrivna fordon är användningsfasen för grundscenariot tvärtom en av de mindre påverkande delarna av livscykeln och blir av ännu mindre betydelse med antagandet om en svensk elmix. Om istället en europeisk elmix antas skiftas användningssteget för eldrivna fordon till att bli det mest bidragande steget för sina livscykelemissioner. Dessutom innebär det att det eldrivna fordonet får högre livscykelemissioner än det gasdrivna fordonet. Trots ökningen med antagande om en europeisk elmix beräknas dock det eldrivna fordonet fortfarande släppa ut mindre växthusgaser jämfört med sina fossila alternativ.

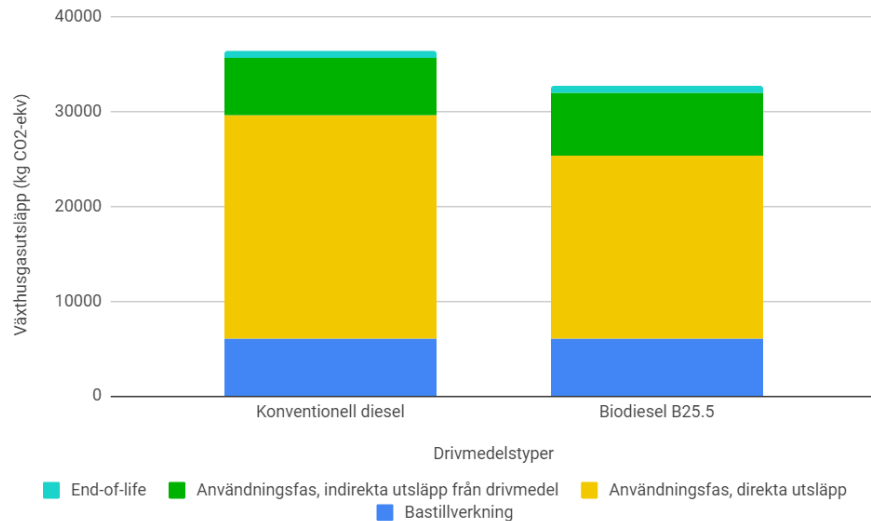
4.1 Analys av växthusgasemissioner



Figur 5: *Totala livscykelutsläpp av växthusgaser för små servicefordon*

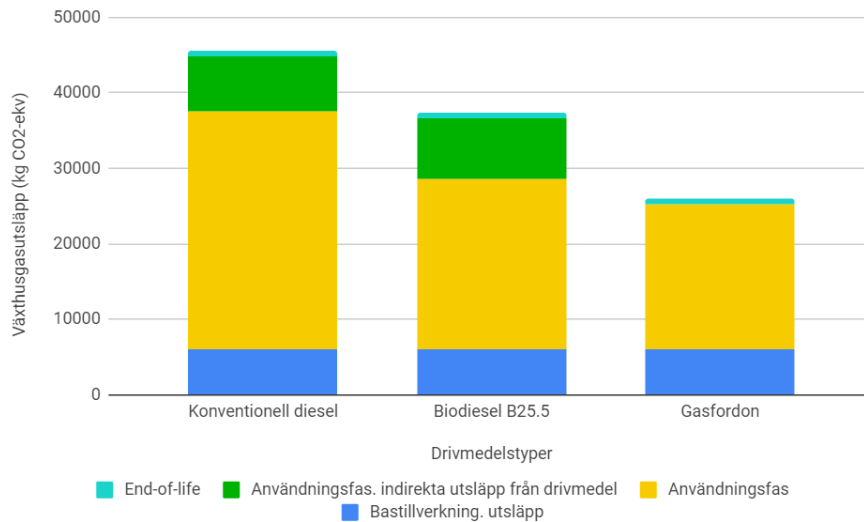
Fordon som drivs med konventionell diesel beräknas leda till det högsta värdet för livscykelemissioner av växthusgaser medan fordon som drivs av biodiesel (B25,5)

medför det lägsta utsläppsvärdet (Figur 6), med en skillnad på drygt 11 %. För båda drivmedelstyper framgår att de direkta avgasutsläppen är det överlägset mest bidragande steget i livscykeln.



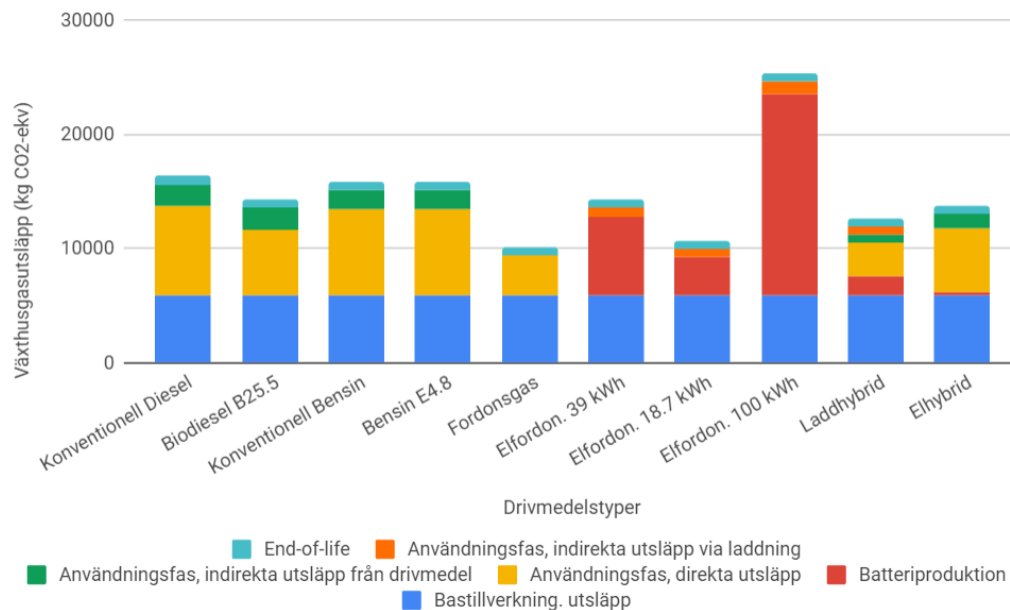
Figur 6: *Totala livscykelutsläpp av växthusgaser för mellanstora servicefordon*

Fordon som drivs med konventionell diesel beräknas medföra det högsta värdet för livscykelemissioner av växthusgaser medan fordon som drivs av fordonsgas medför det lägsta utsläppsvärdet (Figur 7). Anledningen till att det inte syns några indirekta utsläpp från användningsfasen för gasdrivna fordon är att detta steg beräknats tillsammans med de direkta utsläppen av användningsfasen som beskrivet i avsnitt 3.3.1. I övrigt är de direkta utsläpp under användningsfasen det mest bidragande steget i livscykeln för samtliga drivmedelstyper. End-of-life-steget av livscykeln beräknas även för tjänstefordon ha ett litet bidrag på de totala livscykelutsläppen.



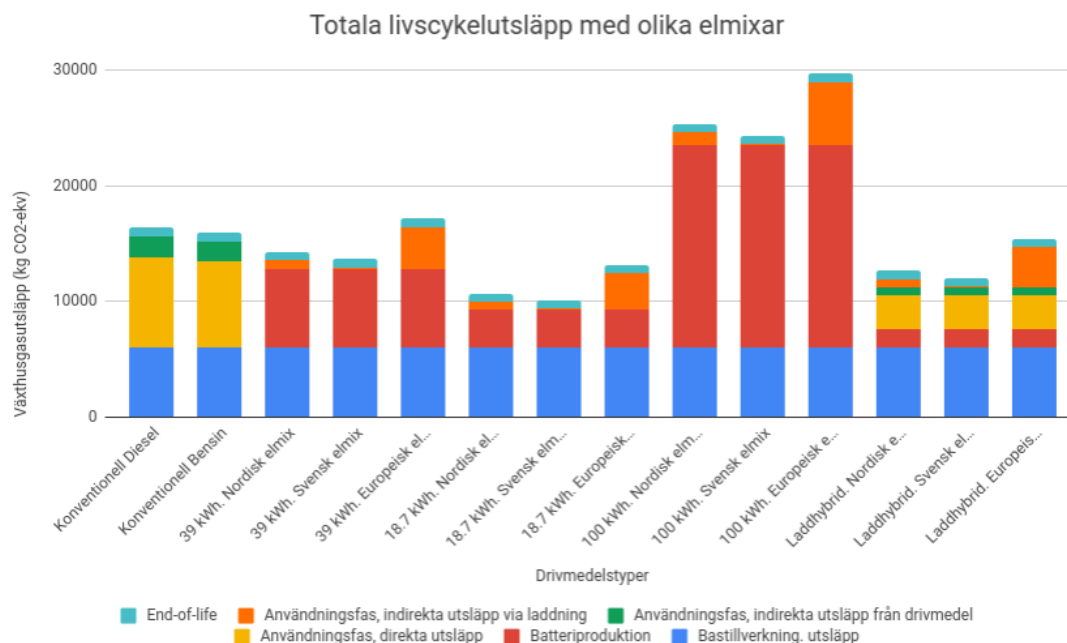
Figur 7: *Totala livscykelutsläpp av växthusgaser för stora servicefordon*

Fordon som drivs med fordonsgas beräknas medföra det lägsta värdet för livscykelemissioner av växthusgaser medan eldrivna fordon med det största batteriet medför det högsta utsläppsvärdet (Figur 8). Det framgår även att bastillverkningssteget har större inverkan på totala livscykelns utsläpp för samtliga drivmedelstyper jämfört med servicefordonens livscykelutsläpp. Med undantaget för det eldrivna fordonet med det största batteriet visar resultatet på att samtliga av de undersökta fordonen med alternativa drivmedel ger upphov till lägre livscykelemissioner av växthusgaser jämfört med de studerade fossila alternativen.



Figur 8: *Totala livscykelutsläpp av växthusgaser för tjänstefordon*

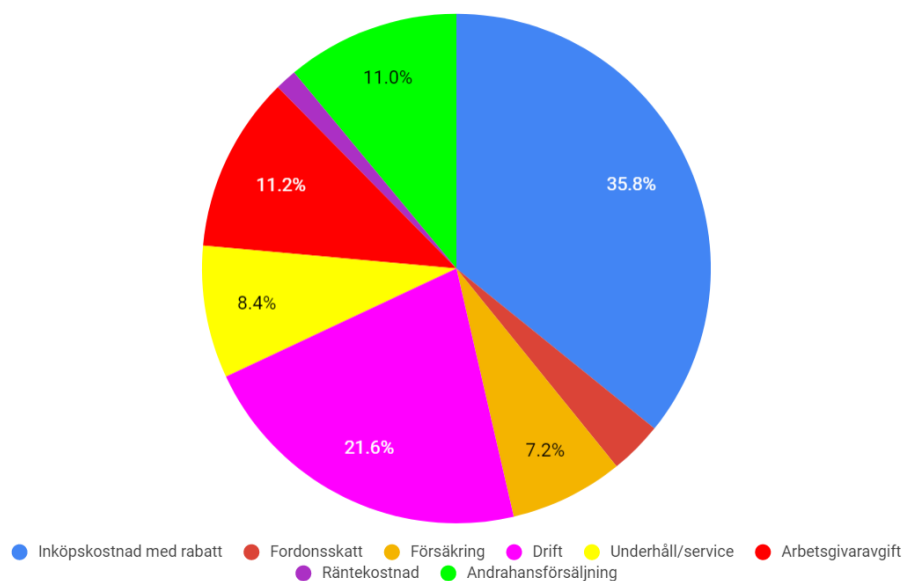
Användningsfasen får en ökad betydelse vid antagande om en europeisk elmix medan skillnaderna är mindre vid övergång från en nordisk till en svensk elmix (Figur 9). Vid antagande om en europeisk elmix beräknas dessutom det eldrivna fordonet med 39 kWh batteri att medföra större livscykelemissioner av växthusgaser än de fossila alternativen, med en skillnad på 5 % jämfört med konventionell diesel och 8 % jämfört med konventionell bensen.



Figur 9: Totala livscykelutsläpp av växthusgaser för tjänstefordon med olika antaganden om elmixar.

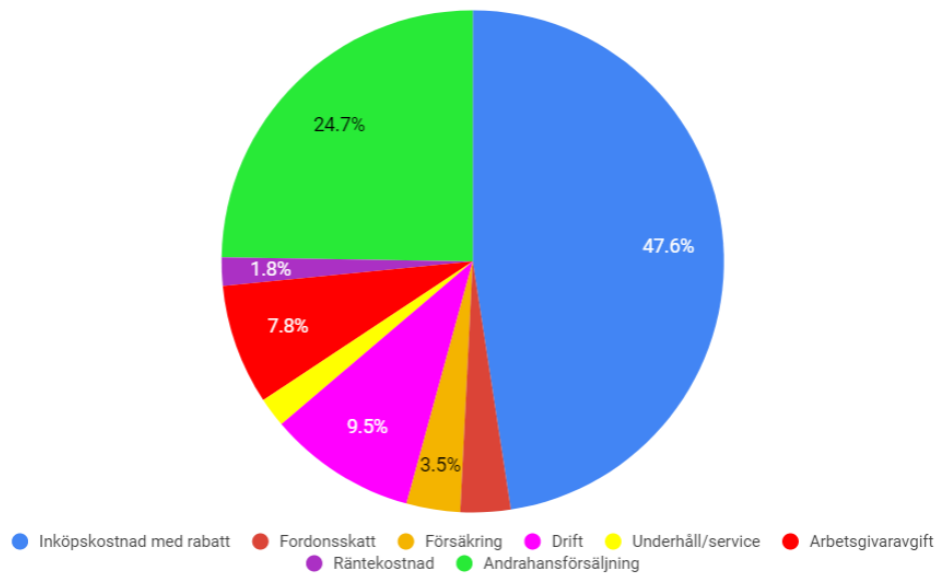
4.2 Kostnadsanalys

Inköpskostnaden beräknas vara den mest bidragande delen för de totala ägandekostnaderna för små dieseldrivna servicefordon (Figur 10). Det näst mest bidragande steget är driftkostnaderna men det kan också konstateras att de flesta delar av livscykeln har betydelse. De minst bidragande stegen är räntekostnaderna och fordonsskatten som står för 1,4 % respektive 3,4 % av den beräknade kostnadsfördelningen. Andelen som visar andrahandsförsäljning har ändrats från negativt till ett positivt värde för att endast studera dess belopp i jämförelse mot övriga delar för ägandekostnader.



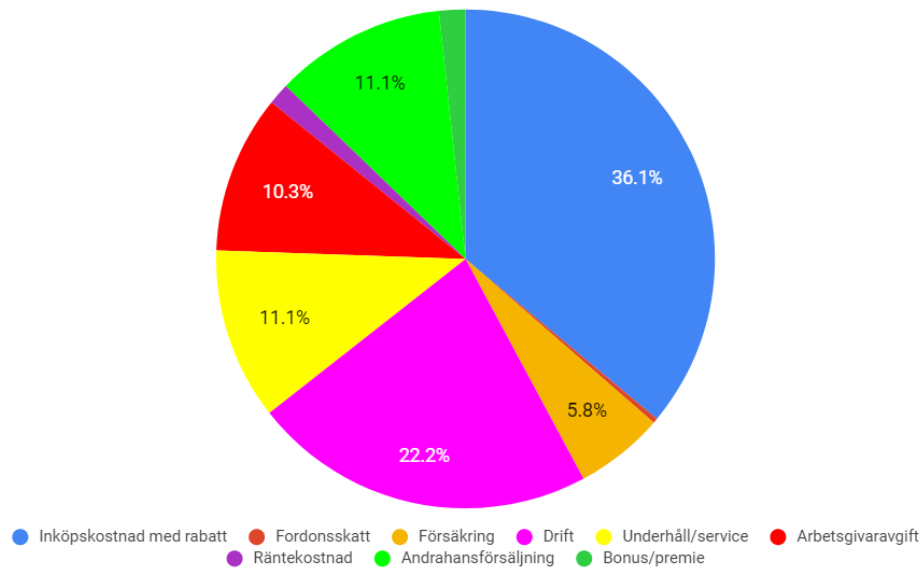
Figur 10: *Kostnadsfördelning av totala ägandekostnader för små dieseldrivna servicefordon*

Inköpskostnaden beräknas vara det överlägset mest bidragande steget för de totala ägandekostnaderna för små eldrivna servicefordon (Figur 11). Därefter följer andrahandsförsäljningen, arbetsgivaravgiften och miljöbonusen som de mest bidragande stegen för de totala ägandekostnaderna. De minst bidragande stegen är fordonsskatten, räntekostnaderna och driftkostnaderna vilka står för 0,3 %, 1,9 % respektive 2,4 % av den beräknade kostnadsfördelningen.



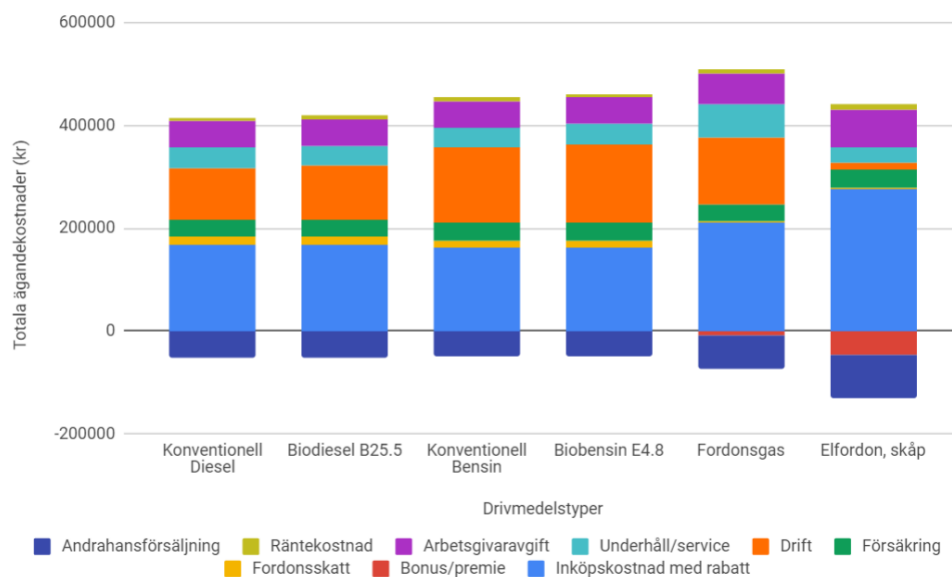
Figur 11: *Kostnadsfördelning av totala ägandekostnader för små eldrivna servicefordon*

Det mest bidragande steget för de totala ägandekostnaderna för små gasdrivna servicefordon beräknas vara inköpssteget (Figur 12). För denna drivmedelstypen är dock fördelningen mer jämn än de andra drivmedelstyperna i samma fordonskategori. Det näst mest bidragande steget är driftkostnaderna. De minst viktiga stegen för de totala ägandekostnaderna för små gasdrivna servicefordon är fordonsskatten, räntekostnaderna och miljöbonusen vilka står för 0,3 %, 1,4 % respektive 1,7 % av den beräknade kostnadsfördelningen.



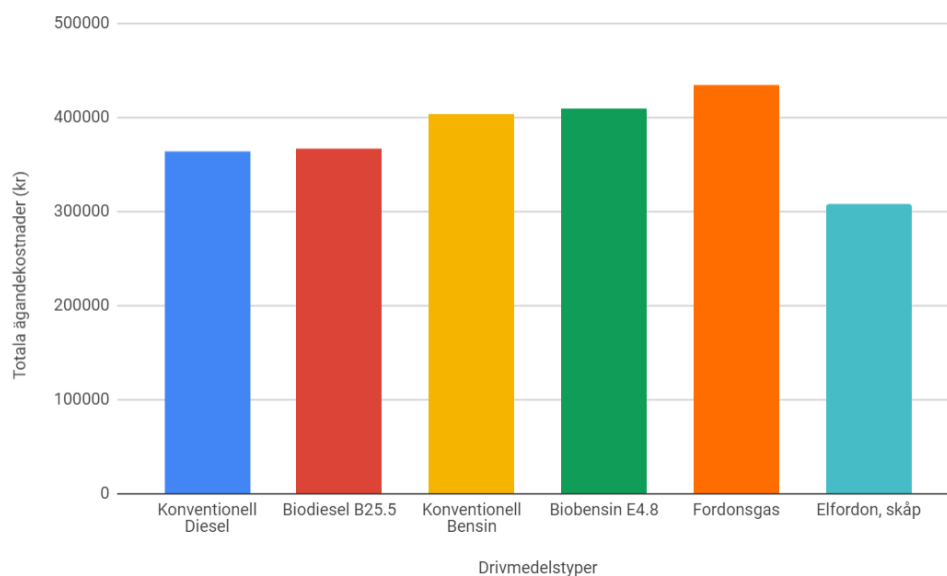
Figur 12: *Kostnadsfördelning av totala ägandekostnader för små gasdrivna servicefordon*

Små servicefordon som drivs med konventionell diesel beräknas ha minst utgifter under ägandeperioden men de ger också upphov till bland de minsta negativa utgifterna (Figur 13). Största kostnader för utgifter har små gasdrivna servicefordon och störst kostnader för negativa utgifter har små eldrivna servicefordon. Elfordon har även högst inköpskostnad men lägst driftkostnader.



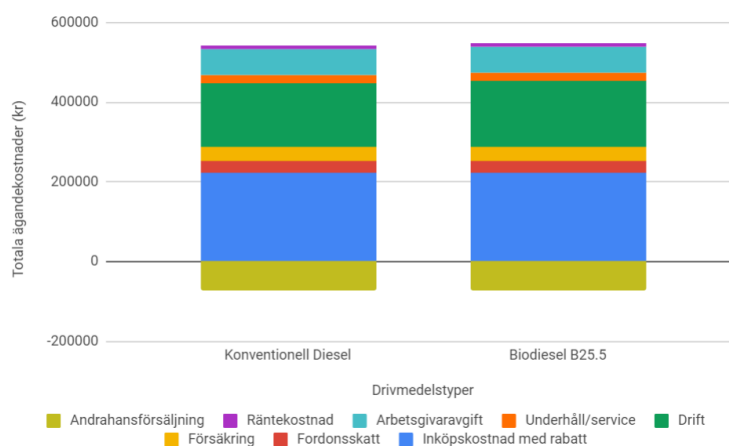
Figur 13: *Totala ägandekostnader för små servicefordon*

Små gasdrivna servicefordon beräknas medföra de högsta totala ägandekostnaderna medan små eldrivna servicefordon medför de lägsta totala ägandekostnaderna (Figur 14). Det framgår även att biodrivmedlen har högre kostnader jämfört med de konventionella fossila bränslena där skillnaderna är 1-10 % för de totala kostnaderna över hela ägandeperioden.



Figur 14: *Totala ackumulerade ägandekostnader för små servicefordon*

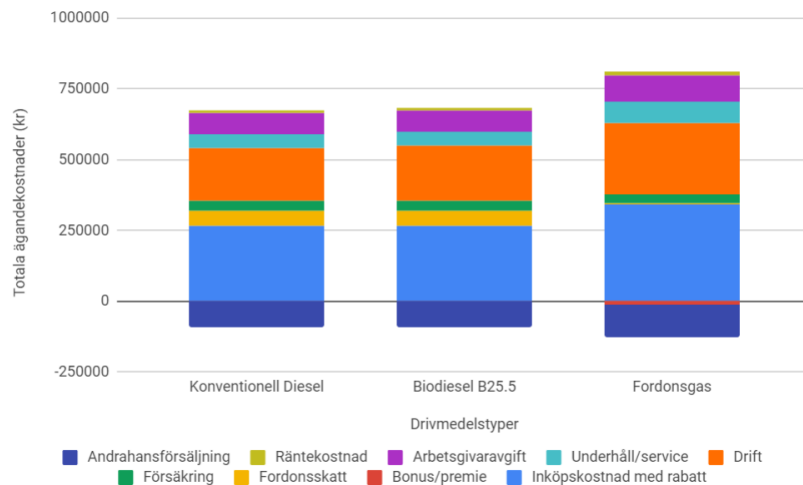
Mellanstora servicefordon som drivs med konventionell diesel beräknas ge det lägsta värdet för totala ägandekostnader (Figur 15). Dyrast över hela ägandeperioden beräknas för fordon som drivs med biodiesel (B25,5) men skillnaden är mycket liten.



Figur 15: *Totala ägandekostnader för mellanstora servicefordon*

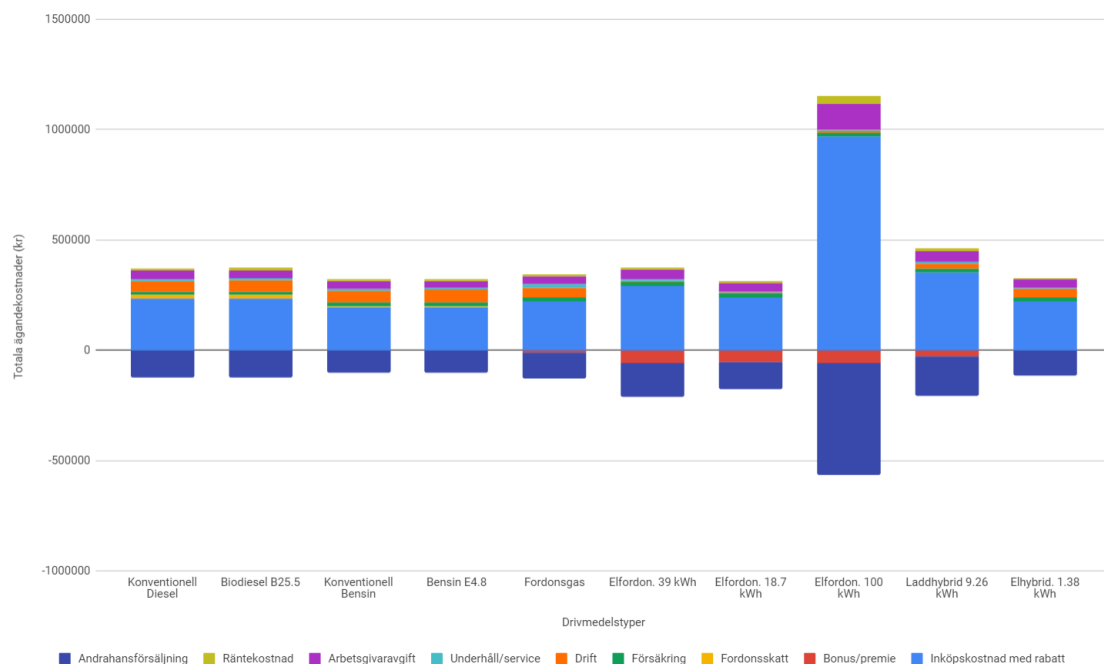
Stora servicefordon som drivs med fordonsgas beräknas ha de största utgifterna

men även de största negativa utgifterna (Figur 16). Skillnaden mellan utgifterna för de gasdrivna fordonen och fordonen som drivs av diesel är dock större än skillnaden mellan de negativa utgifterna vilket gör att de gasdrivna fordonen får högre totala ägandekostnader än dieselalternativen. Drivmedelstypen biodiesel beräknas ha något högre totala ägandekostnader jämfört med konventionell diesel men skillnaden är mycket liten.



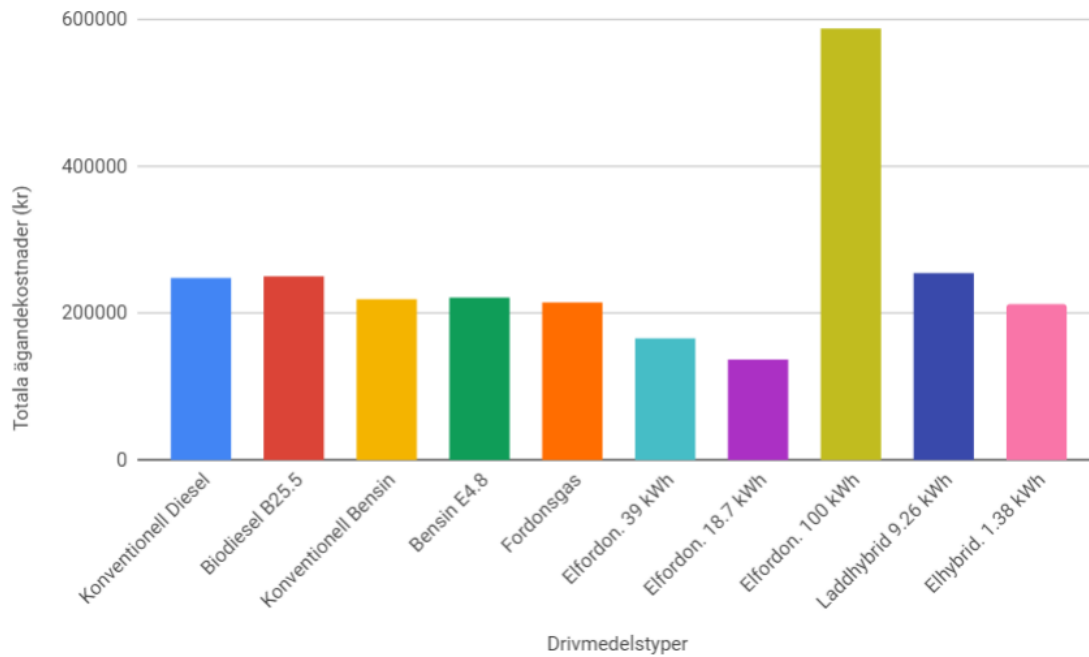
Figur 16: *Totala ägandekostnader för stora servicefordon*

Elfordonet med ett 100 kWh batteri beräknas ha betydligt högre utgifter än alla andra fordons-/drivmedelstyper över ägandeperioden (Figur 17). Det har även överlägset högst negativa utgifter över ägandeperioden. De övriga fordons- och drivmedelstyperna beräknas ha mer jämna värden för totala ägandekostnader



Figur 17: *Totala ägandekostnader för tjänstefordon*

Elfordon med ett 100 kWh batteri beräknas ha betydligt högre totala ägandekostnader än samtliga övriga fordons-/drivmedelstyper trots att de negativa utgifterna har dragits av från totalvärdet i detta fall (Figur 18). Lägst totala ägandekostnader beräknas vara för elfordonet med ett batteri på 18,7 kWh. Till skillnad från servicefordonen har tjänstefordon som är drivna med fordonsgas lägre totala ägandekostnader jämfört med de fossila alternativen. I övrigt beräknas samtliga andra alternativa drivmedel förutom laddhybriden ha lägre totala ägandekostnader än bensin- och dieselalternativen (inkluderat deras biodrivmedel).



Figur 18: Totala ackumulerade ägandekostnader för tjänstefordon

<https://www.overleaf.com/project/5c38bd79b735a841f54cc4b8>

4.3 Resultat - Scenarioanalys

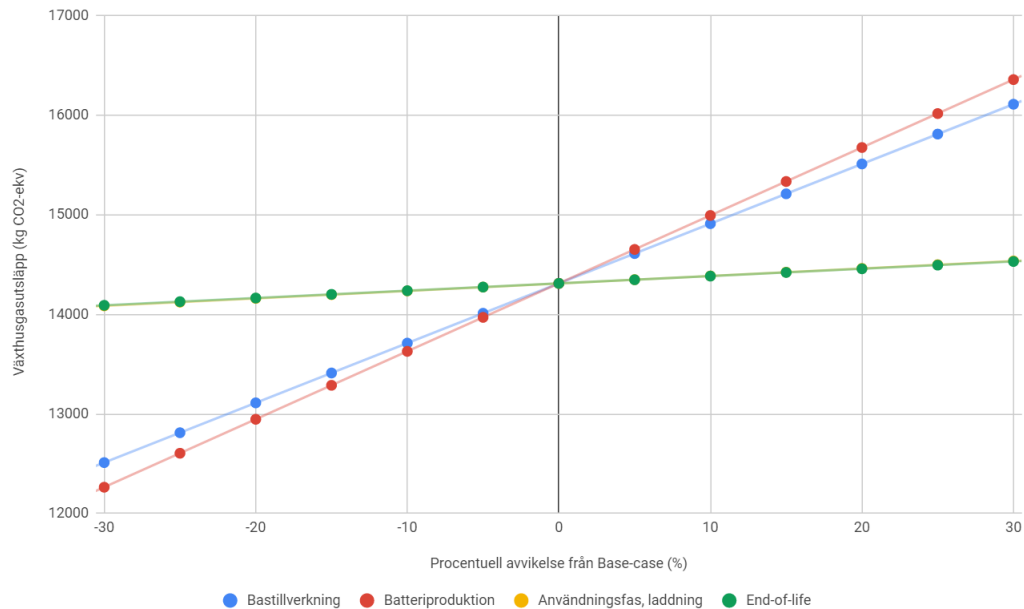
I Tabell 11 presenteras resultatet från scenarioanalysen med beräkningar enligt samtliga scenarier. Resultatet presenterades i form av beräknad minskning för livscykelemissioner och totala ägandekostnader för hela fordonsparken uppdelat på de olika studerade scenarierna, samt statistik över sammansättningen fordon som byttes in för varje scenario. Alla fordonskategorier som studeras i denna rapport är ej representerade i tabellen vilket beror på att vissa fordons-/drivmedelstyper aldrig byttes till följd av de definierade kriterierna. Resultatet visar att samtliga scenarier beräknas ha en viss potential till minskade livscykelemissioner av växthusgaser för fordonsparken med variation från 5,7 % till 37 %. Potential till besparing av totala ägandekostnader beräknas finnas för samtliga scenarier bortsett från Scenario 1d och Scenario 2 där svaga förluster beräknades. För övriga scenarier varierades den beräknade besparingen av totala ägandekostnader från 1,1 % till 7,1 %.

Tabell 11: Resultat från scenarioanalysen för livscykelemissioner av växthusgaser och totala ägandekostnader

Fordonstyp	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 1c	Scenario 1d	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5a	Scenario 5b
Antal små servicefordon konv. diesel	0	0	0	0	0	16	0	0	0
Antal små servicefordon el	12	12	12	0	0	0	21	16	16
Antal små servicefordon fordonsgas	0	0	0	12	0	0	0	0	0
Antal mellanstora servicefordon konv. diesel	0	52	0	0	0	56	0	52	52
Antal mellanstora servicefordon biodiesel	52	0	52	52	7	0	98	0	0
Antal stora servicefordon konv. diesel	0	0	0	0	0	38	0	30	30
Antal stora servicefordon fordonsgas	56	56	56	56	21	0	62	0	0
Antal tjänstefordon bensin	0	0	0	0	0	15	0	0	0
Antal tjänstefordon fordonsgas	25	25	0	25	0	0	101	0	0
Antal tjänstefordon el (39 kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Antal tjänstefordon el (18,7 kWh)	0	0	25	0	0	0	0	25	0
Antal utbytta fordon	145	145	145	145	28	125	282	123	123
Andel utbytta fordon (%)	51	51	51	51	10	51	100	44	44
Totala minskade utsläpp (kg CO ₂ -ekv)	2 287 886	2 096 838	2 319 178	2 233 358	591 885	751 962	3 876 731	1 011 233	919 833
Andel minskade utsläpp (%)	21,84	20,02	22,14	21,32	5,65	7,18	37,01	9,65	8,78
Totala sparade kostnader (kr)	1 463 492	1 760 317	3 424 785	-559 436	-1 556 505	4 724 537	4 486 342	9 570 854	8 860 066
Andel sparade kostnader (%)	1,08	1,30	2,53	-0,41	-1,15	3,49	3,32	7,07	6,55

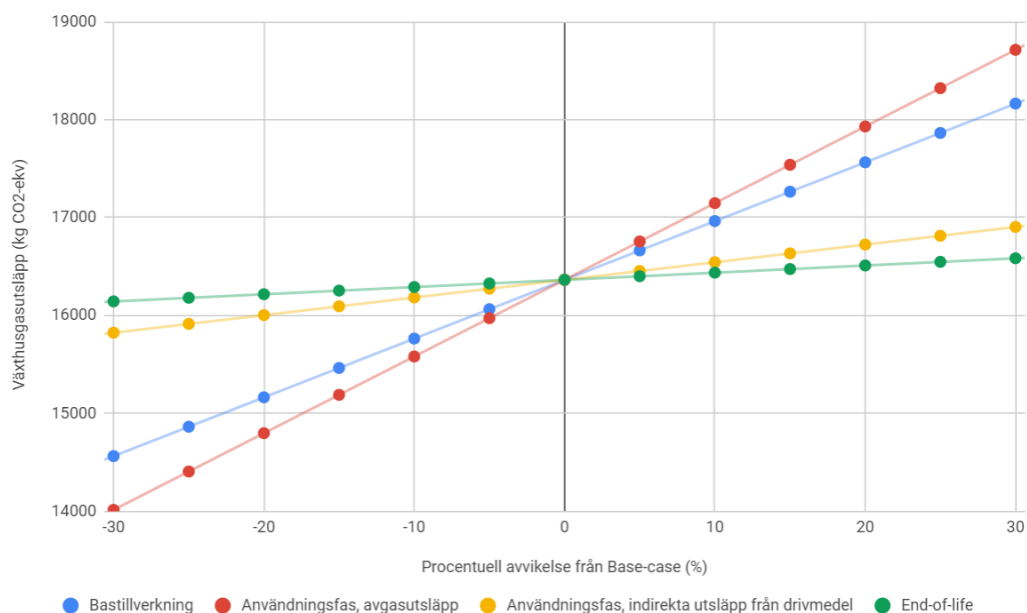
4.4 Resultat - Känslighetsanalys

Nedan presenteras resultatet av den genomförda känslighetsanalysen för livscykelutsläpp och totala ägandekostnader. Avvikelser i figurer representerar beräknad variation av resultatet för hela livscykeln som förväntas uppstå vid variation med $\pm 30\%$ från grundvärdet för varje parameter enligt grundscenariot.



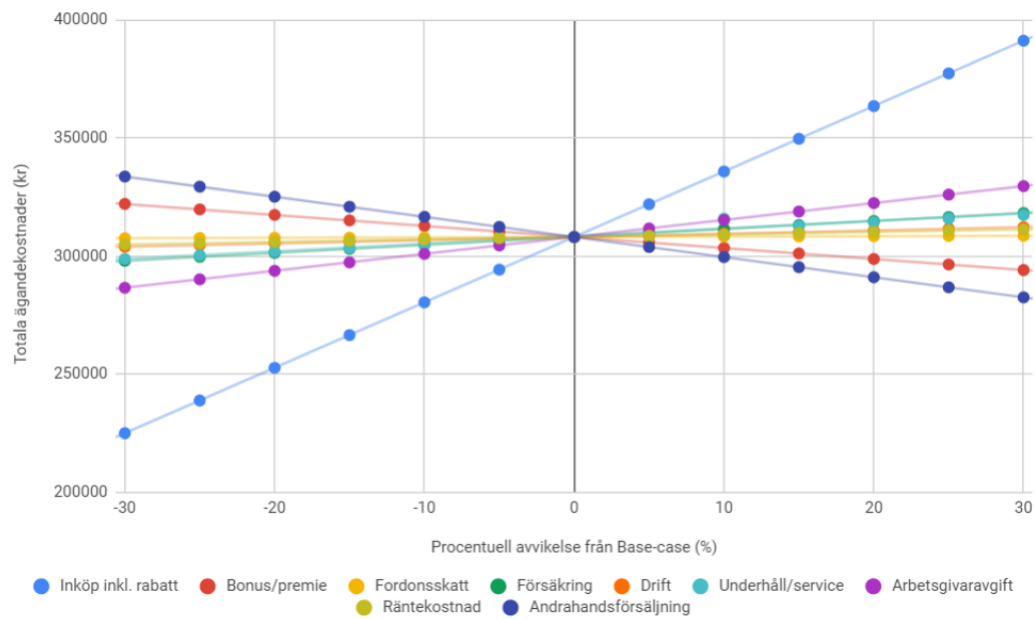
Figur 19: Känslighetsanalys för variation av livscykelns parametrar av växthusgasutsläpp för eldrivna tjänstefordon

De två mest utslagsgivande parametrarna för eldrivna tjänstefordon är batteriproduktionen och bastillverkningen (Figur 19). Vid en ökning med 30 % av livscykelns steg individuellt ökar de totala växthusgasutsläppen med 14 % respektive 13 %. Variation i användningsfasen och End-of-life överlappar i figuren (varför endast End-of-life syns) och ger mycket svaga utslag på det totala resultatet med en ökning på knappt 2 % för båda parametrarna i samma procentintervall.



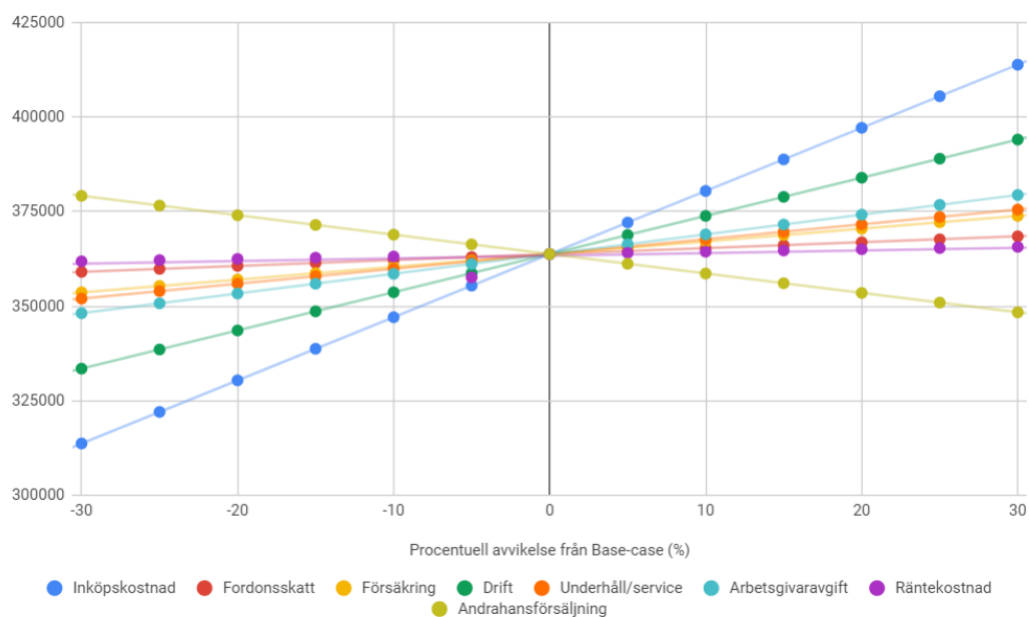
Figur 20: Känslighetsanalys för variation av livscykelns parametrar av växthusgasutsläpp för dieseldrivna tjänstefordon

De direkta avgasutsläppen från användningsfasen och bastillverkningen är de mest utslagsgivande parametrarna för dieseldrivna tjänstefordon (Figur 20). En ökning med +30 % leder till en ökning av de totala växthusgasutsläppen med +14 % respektive +11 %. Vid variation av de indirekta utsläppen från drivmedlet och End-of-life blir förändringen mycket liten för de totala växthusgasutsläppen. För samma procentintervall blir ökningen +3 % för den indirekta användningsfasen respektive ca +1 % för End-of-life.



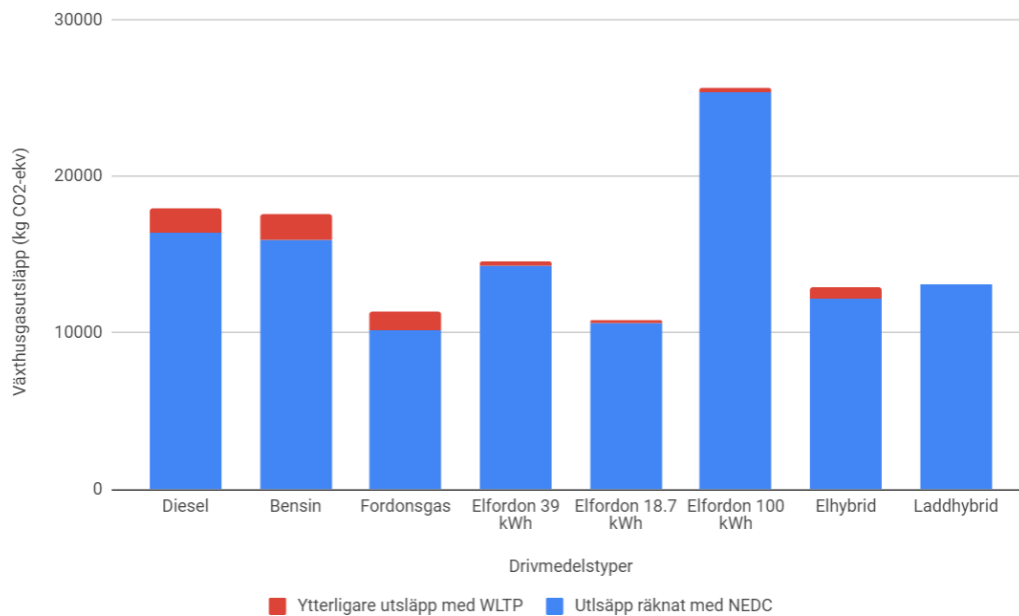
Figur 21: *Känslighetsanalys för variation av livscykelns parametrar av totala ägandekostnader för små eldrivna servicefordon*

Inköpskostnaden är den mest utslagsgivande parametern på de totala ägandekostnaderna för ett litet eldrivet servicefordon (Figur 21). Vid ökning med +30 % för inköpskostnaden beräknas de totala ägandekostnaderna öka med 27 %. Alla övriga parametrar ger upphov till förändringar på mindre än 10 % för samma procentintervall där den parameter som ger upphov till minst utslag är fordonsskatten vilken bidrar med en ökning på 0,2 %.



Figur 22: Känslighetsanalys för variation av livscykelns parametrar av totala ägandekostnader för små dieseldrivna servicefordon

Inköpskostnaden är den mest utslagsgivande parametern även för små dieseldrivna servicefordon (22). En ökning med +30 % för inköpskostnaden ger en beräknad ökning av de totala ägandekostnaderna med 14 %. Ingen av de övriga parametrarna ger upphov till förändringar på större än 10 % för de totala ägandekostnaderna för samma procentintervall. För små dieseldrivna fordon är räntekostnader den minst utslagsgivande parametern vilken ger upphov till en ökning på 0,5 % för samma procentintervall.



Figur 23: *Känslighetsanalys för variation av växthusgasutsläpp för olika drivmedelstyper vid införandet av WLTP*

De fossila drivmedlen beräknas få högst ytterligare utsläpp med WLTP och om man bortser från laddhybriden får elfordonen minst ytterligare utsläpp (Figur 23).

5 Diskussion

5.1 Livscykelemissioner av växthusgaser

Resultatet tyder på att det finns en tydlig potential för att minska livscykelemissioner av växthusgaser vid individuellt byte från fossila bränslen till alternativa drivmedel för kategorin små servicefordon. Byte till elfordon beräknas ge den största reduktionen för livscykelemissioner av växthusgaser (Figur 5). Om fordonen laddas med el enligt en nordisk elmix som antagits i grundscenariot (vilket bedöms vara ett rimligt antagande för generell elkonsumtion i Sverige) finns potential att göra kraftiga besparingar för denna kategori fordon. Denna potential blir ännu större vid antagande om en svensk elmix vilket troligtvis är ett mer rimligt antagande i detta fall då företaget har ett grönt elavtal. Om man utgår från ett värsta fall då en europeisk elmix antas kan det fortfarande finnas potential till minskning av livscykelemissioner av växthusgaser vid byte till eldrivna fordon, särskilt i jämförelse mot de konventionella drivmedlen. I det fallet är dock gasdrivna fordon ett säkrare val med potential till större mängd utsläppsminskning, ca 17 ton CO₂-ekv. jämfört med elfordonet som beräknas ge en klimatpåverkan motsvarande ca 22 ton CO₂-ekv. under fordonets livscykel.

Som väntat visar Figur 6 att biodiesel ger minst utsläpp för mellanstora servicefordon. Utbudet för denna fordonstyp i dagsläget tyder mycket på att framtida potential för utsläppseffektiviseringar först och främst ligger i att introducera fordon med alternativa drivmedel för denna fordonstyp. Fordon som drivs med biodiesel bidrar till utsläppsminskningar i en viss utsträckning. För att kunna konkurrera med alternativa drivmedel för små servicefordon med avseende på växthusgasutsläpp krävs dock en större andel biobränsle i dieseln.

Resultatet för stora servicefordon i Figur 7 visade på liknande resultat som för mellankategorin. För denna kategori beräknades dock även livscykelemissioner för gasdrivna fordon eftersom statistik från kommersiellt tillgängliga fordon för denna storlek var tillgänglig. Att potential finns för kraftiga utsläppsminskningar genom val av gasdrivna fordon även i denna kategori ger en fingervisning om den möjliga potentialen till utsläppsminskningar även för mellanstora servicefordon när fordon med alternativa drivmedel introduceras.

Valet att inkludera elfordonet med 100 kWh batteri gjordes främst för att få en uppfattning om hur stora skillnader det är för fordon med batterier av extrema kapaciteter i jämförelse mot genomsnittliga fordon. Resultatet i Figur 8 visar också på att denna fordonstyp ger störst livscykelutsläpp för tjänstefordon till följd

av just batteriproduktionssteget. Det spelar därför heller ingen roll om en svensk elmix antas. Beräkningarna visar på att potentialen för utsläppsminskningar som kan förväntas vid val av elfordon istället kan bli fullständigt förlorad vid val av ett batteri av en viss kapacitet. På så sätt visar resultatet i Figur 8 på att valet av batteristorlek är kritiskt för livscykelemissioner av växthusgaser för elfordon. Detta problem existerar inte på samma sätt för laddhybrider och elhybrider. De modeller för laddhybrider som studerades i litteraturstudien hade sällan batteristorlekar på över 20 kWh och elhybriders batterier var ännu mindre. För dessa fordonstyper blir istället avgasutsläppen av större betydelse och ett potentiellt körmönster som minimerar fordonens drift med bensin skulle för laddhybrider exempelvis kunna leda till minskade utsläpp. Många av dagens modeller för laddhybrider har dock batteristorlekar som endast möjliggör drift med el på upp till ca 5 mil (Toyota, 2020). Detta medför en osäkerhet vid beräkning av laddhybriders klimatpåverkan eftersom genomsnittliga förbrukningssiffror inte blir relevanta vid längre bilresor. Med hänsyn till detta är det alltså mycket svårare att direkt jämföra laddhybrider mot fordon med konventionella förbränningsmotorer i denna studie. En närmare jämförande utvärdering bör därför göras för fordon som förväntas köras mestadels längre sträckor.

Värt att nämna från resultatet för tjänstefordon är också att gasdrivna fordon beräknas leda till de lägsta utsläppen av samtliga alternativa drivmedel trots att Figur 5 resulterade i det motsatta. Detta beror på att tjänstefordonen endast är i bruk tre år och användningsfasen, vilket är den överlägset mest bidragande livscykel-fasen för gasdrivna fordon, blir därför av mindre betydelse. Resultatet för olika antaganden om elmixar för tjänstefordon visar på att en nordisk och en svensk elmix ger ett resultat utan större variation och de eldrivna fordonen beräknas i båda fallen ge lägre livscykelutsläpp av växthusgaser jämfört med de fossila alternativen (Figur 9). Vid antagande om en europeisk elmix blir det mer osäkert vilket alternativ som ger minst utsläpp och det finns även potential att de fossila alternativen i det fallet ger lägre livscykelutsläpp än elfordon med 39 kWh och laddhybrider. Detta är något som även har påvisats i en studie som undersökte bland annat påverkan av elmixar i en LCA. Resultatet visade att de konventionella alternativen hade lägre livscykelutsläpp av växthusgaser jämfört med de studerade elfordonen vid antagande om en polsk elmix som innebär el från över 90 % fossila bränslen (Faria et al., 2013).

Det är därför viktigt att beakta ursprungsmärkningen för elen som används under elfordonens användningsfas och ta hänsyn till dess påverkan på bedömningen om det klimatvänligaste alternativet. Det är alltså inte alls självklart att ett elfordon med genomsnittlig batteristorlek i samtliga fall är ett mer klimatomkostligt gynnssamt

alternativ än fordon med konventionella drivmedel. Med resultatet av den polska studien i åtanke är det tydligt att det krävs en bedömning av varje enskilt lands elmix och det går därför inte att dra slutsatser om minskad klimatpåverkan genom elektrifiering av en mer generell global fordonspark. Detta är något som behöver bedömas från fall till fall bland annat utifrån ovan nämnda osäkerhetsfaktorer (Faria et al., 2013).

5.2 Totala ägandekostnader

I denna studie beslutades att inte undersöka kostnader för installation av laddstationer eller kostnader för användning av den publika laddinfrastrukturen. Detta gjordes eftersom företaget i dagsläget inte har behov av några laddstationer då laddhybriderna laddas direkt ur 220 V-uttag vid kontorets fastighet.

Ingen utvärdering har heller gjorts i denna studie angående potentiellt behov av laddstationer om fler eldrivna fordon skulle köpas in. En möjlig effektivisering av fordonsparken där en mängd nya eldrivna fordon köps in skulle innebära stora osäkerheter vid uppskattning av fordonens laddmönster. Eftersom det finns många olika modeller av elfordon som ger olika långa räckvidder innebär det därför alltför stora osäkerheter när det gäller att utvärdera behovet av publik laddning. I en studie av svensk och norsk laddinfrastruktur konstaterades dock att det finns möjlighet att nå liknande täthet av laddstationer för elfordon som för drivmedel för konventionella fordon. Behovet beror dock även till stor del av batteristorlekar och effekter vilket båda väntas öka i framtiden (Funke et al., 2018).

Resultatet i Figur 10 - 12 visar att inköpskostnaden är den mest bidragande kostnadsparametern för de totala ägandekostnaderna. Fallstudiens resultat tyder därför på att potentialen för besparingar av ägandekostnaderna främst ligger i valet av fordonet snarare än effektiviseringar av de kostnader som uppstår under fordonets driftperiod. Detta gäller särskilt för eldrivna fordon eftersom dessa har speciellt höga inköpskostnader. För gasdrivna och fossilt drivna fordon är dock driftkostnader av större betydelse än för övriga fordonstyper. Detta beror dock främst på att utbytesperioden är fem år och att användningsfasen är mer kostsam för fordon med förbränningsmotorer jämfört med elmotorer. Det är därför troligt att inga större kostnadseffektiviseringar kan väntas för detta livscykelsteg. Eftersom den mest påverkande faktorn för kunder vid investering av fordon har visat sig vara priset vid inköp är det i många fall troligtvis svårare att sälja in idén om fordon med alternativa drivmedel, även om de senare potentiellt leder till ekonomiska besparingar över hela ägandeperioden (Nilsson, 2016). För att få ett större ge-

nombrott av elfordon på marknaden krävs därför troligtvis en fortsatt utveckling mot sänkta kostnader för eldrivna fordon tillsammans med förhöjda kostnader för fossilt drivna fordon. Detta förutsätter dock att ökat intresse för eldrivna fordon främst styrs av kostnadsfaktorer. Om det istället skulle ske ett ökat intresse för elfordon av miljöskäl som gör att efterfrågan stiger kan detta tvärtom göra att kostnaderna ökar på kort sikt.

Det finns en potential att spara totala kostnader genom byte till elfordon för den mindre kategorin av servicefordon, trots betydligt dyrare inköpspris jämfört med övriga drivmedelstyper (Figur 13 och 14). Elfordonet beräknas särskilt vinna på att ha stora negativa utgifter från andrahandsvärdet och miljöbonusen men även på att användningsfasen medför betydligt lägre kostnader än de övriga alternativen. Dyrast över hela ägandeperioden för små servicefordon beräknas vara gasdrivna fordon vilket bland annat beror på att de inte erhåller lika stor miljöbonus som det eldrivna alternativet. Biodrivmedlen är något dyrare än sina konventionella alternativ. Det kan dock argumenteras för att minskningen i livscykelemissioner av växthusgaser överträffar de något högre kostnaderna över ägandeperioden.

Resultatet i Figur 15 visar att kostnaderna för fordon drivna med biodiesel är något högre än det konventionella alternativet. Återigen visar det begränsade utbudet i jämförelse med alla andra fordonskategorier på att potentialen till kostnadsbesparingar för denna fordonstyp ligger i att nya drivmedel introduceras, detta skulle också kunna leda till ökad konkurrens på marknaden och lägre priser (Transportstyrelsen, 2018c).

Ovanstående argument angående gasdrivna fordon bekräftas även i resultatet ur Figur 16 där fordonsgasen visar högst totala ägandekostnader trots miljöbonus. Detta beror främst på den höga inköpskostnaden men också de högre driftkostnaderna jämfört med dieselalternativen. Extra tydligt blir det även i Figur 16 att malussystemet, där det skiljer sig stort mellan diesel och fordonsgas, får en relativt liten påverkan på de totala ägandekostnaderna till dieselalternativens fördel. Nya regler som innebär att konsumenten måste betala för kontroll av gastankar gör att det blir ännu något dyrare att äga gasdrivna fordon (Lilja and Stjernvall, 2018). Detta är något som ytterligare skulle kunna hindra denna fordonstyp att få genomslag på marknaden.

Elfordon med 100 kWh får betydligt högre kostnader jämfört med övriga alternativ. Detta beror på att referensfordonet (och enda modellen som erbjuder denna batteristorlek) är av märket Tesla vilken generellt sett har en betydligt högre inköpskostnad än övriga studerade elfordon som motsvarar sina batteristorlekar.

Eftersom denna fordonstyp främst inkluderades för att studera olika typer av elfordon för växthusgasutsläppens del av fallstudien läggs ingen särskild vikt vid detta kostnadsresultat i rapporten. De totala ägandekostnaderna för olika typer av tjänstefordon är överlag mer jämnt jämfört med övriga kategorier men en tydlig potential till minskning av kostnader finns vid val av elfordon med 39 kWh respektive 18,7 kWh batteri eftersom de tydligt medför lägre totala ägandekostnader. Detta beror främst på att miljöbonusen för denna drivmedelstyp är tillräckligt stor för att jämna ut de höga inköpskostnaderna.

En osäkerhetsfaktor för andrahandsvärdet utöver det som nämnts tidigare i rapporten skulle kunna vara aktuellt för eldrivna och hybriddrivna fordon. Eftersom dessa fordonstyper fortfarande är relativt nya på marknaden och endast en liten minoritet äger sådana fordon är det antagna andrahandsvärdet särskilt osäkert för dessa fordonstyper. När marknaden fortfarande är relativt begränsad för dessa fordonstyper kan andrahandsvärdet bli mer utslagsgivande och fluktuera mer från fall till fall jämfört med för konventionella fordon. Denna osäkerhet kan antingen leda till högre eller lägre verkliga andrahandsvärden och det krävs fortsatt statistikuppföljning för att nå statistiskt mer representativa värden. En annan faktor som kan påverka dessa osäkerheter är den kraftiga utvecklingen som pågår för elbilsbranschen samt det ökade intresset för elfordon. Detta skulle kunna innebära högre avyttringsvärde för eldrivna fordon i framtiden. Dessutom kan utvecklingen som möjliggör längre räckvidder i framtiden för elfordon också påverka både avyttringsvärdet och inköpsvärdet på ett ekonomiskt gynnsamt sätt även om det troligen sker över längre tid precis som för den generella teknikutvecklingen för elfordon.

5.3 Scenarioanalys

Scenarioanalysen visade att det endast är en del av alla studerade fordonskategorier som bör vara aktuella för företagets fordonspark vilket kan ses i de presenterade fordonstyperna i Tabell 11. Resultatet i tabellen visar att samtliga scenarier har potential till minskning av totala livscykelemissioner för fordonsparken.

Grundscenariot (Scenario 1a) beräknas ge upphov till en minskning av fordonsparkens totala livscykelutsläpp av växthusgaser med 22 % samtidigt som möjligheten att spara kostnader beräknas vara försumbart liten. Beroende på val av scenario beror detta på en rad olika faktorer men att samtliga scenarier visar på minskningar av livscykelutsläpp beror, förutom att fordonen i de flesta fall byts ut mot alternativa drivmedel, även på att de existerande fordonen i fordonsparken i dagsläget

generellt sett släpper ut mer än ett genomsnittligt nytt fordon. Detta bekräftas genom att studera resultatet i Scenario 3 vilket beräknas ge drygt 7 % minskade utsläpp trots byte mot endast konventionella drivmedel.

Scenario 1b och 1c visar att ett byte av antagen elmix inte har en särskilt stor påverkan på resultatet då beräknade totala utsläpp varierar med mindre än 0,5 % för olika elmixar. Detta är värt att notera då elfordon med litet batteri (vilken byttes in istället för gasdrivna fordon i Scenario 1c) kan vara praktiskt problematiskt för företaget i vissa fall med dess korta räckvidd. Scenario 1d beräknas leda till en svag ekonomisk förlust på under 1 % vilket beror på att elfordon automatiskt blir underprioriterade i detta scenario till följd av den antagna europeiska elmixen och därmed blir det näst mest klimatomkostsamt gynnsamma alternativet gasdrivna fordon aktuellt för flertalet kategorier vilket leder till förhöjda kostnader.

Scenario 2 vilket beräknar ett utbyte på 10 % av fordonen, är det scenario som är minst gynnsamt både för växthusgasutsläpp och ägandekostnader. Detta beror på att programmeringsskriptet var skrivet på så vis att fordonen som hade högst livscykelutsläpp byttes ut. Eftersom detta främst var stora servicefordon byttes samtliga fordon i den kategorin ut mot gasdrivna fordon vilket hade lägst livscykelutsläpp enligt Figur 7. Detta gjorde att scenariot fick högre kostnader då majoriteten utbytta fordon var av den dyrare typen. Minskning av livscykelutsläpp var även för detta scenario mindre jämfört med övriga scenarier eftersom så få fordon byttes ut.

Scenario 4 vilket innebar ett utbyte av hela fordonsparken gav det högsta värdet på utsläppsminskningar vilket inte var oväntat då det scenariot byter ut samtliga fordon mot det mest individuellt gynnsamma fordonet med avseende på livscykelutsläpp och därmed illustrerar den absolut maximala kapacitet för minskningar av växthusgasutsläpp för företagets fordonspark. Detta scenario har dock främst en teoretisk tillämpning och är i denna studie inte direkt lämpat för det studerade företaget med hänsyn till företagets möjligheter för fordonsutbyte. Dessutom finns det andra praktiska begränsningar med detta scenario som exempelvis begränsade laddningsmöjligheter vilket styrs av bland annat körmönster och geografisk lokalisering. Kostnadsminskningen beräknas dock inte vara lika tydlig för Scenario 4. Detta beror främst på de 62 stora gasdrivna servicefordonen som motverkade ett tydligare resultat för minskning av ägandekostnader för detta scenario.

De slutliga scenarierna som skapades med prioritering av kostnader som utgångspunkt (5a och 5b) beräknades ge den största potentialen för minskning av totala ägandekostnader vilket var väntat då endast fordon med lägsta kostnadsvärde val-

des. Även livscykelutsläpp beräknades dock minska vilket delvis beror på att små eldrivna servicefordon och tjänstefordon visade sig vara de mest gynnsamma alternativen även för kostnader för de kategorierna. Scenario 5a och 5b visar även på att det krävs fortsatt utveckling av fordonsbranchen samt ökad efterfrågan för klimatsmarta fordonsalternativ för den mellersta och den största storlekskategorin av servicefordon där de mest ekonomiskt gynnsamma alternativen är konventionell diesel.

Sammanfattningsvis visar resultatet i Tabell 11 på att, som marknaden ser ut i dagsläget, är det med utgångspunkt från en fordonspark som huvudsakligen består av konventionellt drivna fordon möjligt att uppnå effektiviseringar både med avseende på klimatpåverkan och kostnader. Detta på grund av en kombination av att den aktuella elmixen i Sverige har låg klimatpåverkan samt att elfordon med Bonus-Malussystemet blir konkurrenskraftiga kostnadsmässigt jämfört med konventionellt drivna fordon. Att elfordon dessutom förväntas bli billigare i framtiden bland annat till följd av sjunkande batteripriser stärker troligheten i scenariernas resultat och de slutsatser som dras i denna studie (Nykvist and Nilsson, 2015).

5.4 Känslighetsanalys

Resultatet från känslighetsanalysen för eldrivna tjänstefordons växthusgasutsläpp i Figur 19 visar att batteriproduktionen och bastillverkningen är de enda parametrar som har möjlighet att ge betydande påverkan på de totala livscykelutsläppen. Eftersom bastillverkningen dock inte antas variera särskilt mycket mellan fordonstyper är denna parameter inte något som förändrar resultatet för eldrivna fordon i jämförelse med övriga alternativ. Flertalet studier har undersökt bastillverkningen för olika fordonstyper och även om det beräknades medföra vissa skillnader mellan fordonstyperna är detta inte något som har varit fokus i denna studie (Wagner et al., 2003); (Mizsey and Newson, 2001). Det är därför batteriproduktionen som är den viktigaste osäkerheten att ta i beaktning vid miljöbedömning av eldrivna fordon. En ökning med +30 % vilket beräknas leda till en ökning av totala utsläpp med 14 % är definitivt inom ramen för vad som skulle kunna förekomma vid produktion av litiumjonbatterier. Utsläpp vid denna produktion beror bland annat på landet där produktionen sker och vilken elmix som antas där. I tidigare studier har emissioner även utanför gränsen för denna känslighetsanalys antagits och det är därför viktigt att ha denna osäkerhet i beaktning vilket potentiellt skulle kunna eliminera en förväntad klimatvinst i vissa fall (Hall and Lutsey, 2018). Resultatet i Figur 20 visar på samma mönster för variation av bastillverkningen medan den andra faktorn visade sig vara användningsfasens avgasutsläpp. Denna parameter skulle kunna variera främst beroende på hur emissionsfaktorn för drivmedlet har

beräknats och vilka systemgränser som har antagits.

Känslighetsanalysens resultat för totala ägandekostnader i Figur 21 och Figur 22 visade på en jämnare fördelning (särskilt för Figur 22) vilket beror på att fler faktorer är av större vikt jämfört med livscykelemissioner av växthusgaser. I båda fallen är inköpspriset det överlägset mest bidragande steget och skapar därför den största osäkerheten med ökning på +27 % vid variation med +30 % av den parametern. Därför är det troligtvis viktigast vid val av fordon oavsett fordonstyp att få ett så bra inköpspris som möjligt och potentiellt skulle ett bra kampanjpris eller liknande kunna leda till stora relativa besparingar. Denna osäkerhet är mest utslagsgivande för eldrivna fordon med hänsyn till det höga inköpspriset. En osäkerhet att beakta vid genomförande av en univariat känslighetsanalys på detta vis är att olika delar i livscykeln har olika magnitud av osäkerheter och kan därför variera olika mycket. Därför är intervallet på $\pm 30\%$ ej optimalt för alla delar i livscykeln, men för denna studie antas det ge det mest översiktliga resultatet som tar hänsyn till de viktigaste osäkerheterna.

Inom en överskådlig framtid kommer NEDC tillhöra bilindustrins historia då den byts ut till WLTP vilket innebär osäkerheter för kommande fordonsutsläpp vid drift. Eftersom WLTP pekar på flertalet svaga punkter i NEDC tyder det på att det redan idag finns stora osäkerheter när det gäller utsläppsvärden vid drift, vilka har använts även i denna rapport, och det visar på att verkliga utsläpp inte är korrekt representerade i den statistik som finns tillgänglig. Det är därför viktigt att ta med aspekten att WLTP planeras införas och vilka skillnader som det förväntas medföra och det är viktigt att poängtera tyngden av transparent utsläppsstatistik. Det är troligt att många fordons-/drivmedelstyper kommer få högre utsläppsvärden vid drift med WLTP och det är därför möjligt att flertalet utsläppsberäkningar i denna studie har underskattats med hänsyn till detta. Resultaten i Figur 23 visar att de fossila drivmedlen beräknas leda till de högsta ytterligare utsläppen vid införandet av WLTP vilket beror på att användningsfasen utgör det mest bidragande steget i livscykeln för dessa fordonstyper och det är även därför elfordonen får lägst tillförda utsläpp. Den förväntade emissionsfaktorn har inte kunnat beräknas på grund av för stora osäkerheter och det går därför inte att dra någon särskilt slutsats om den fordonstypen. En viktig observation är dock att införandet av WLTP även väntas resultera i kortare räckvidder för eldrivna fordon vilket skulle kunna motverka dessa fordonstypers möjlighet att fortsätta växa på marknaden (Tsiakmakis et al., 2017).

Det övergripande resultatet i denna rapport stämmer i stora drag överens med de tidigare studier som har presenterats med avseende på potential till att minska

växthusgasutsläpp och kostnader vid övergång till fler alternativt drivna fordon ((Van Mierlo et al., 2016); (Bauer et al., 2015); (Eriksson and Ahlgren, 2013)). Att kostnaderna inte visade sig kunna sänkas lika tydligt beror dels på att det troligtvis generellt sett är mindre potential för detta men också för att denna studie strikt har inriktat sig på utbytesperioderna tre respektive fem år. Hade längre körperiod tagits i beaktning är det möjligt att tydligare ekonomiska vinster hade kunnat visats.

5.5 Hinder och begränsningar vid fordonsutbyte enligt scenarioanalysen

Den omställning som de studerade scenarierna skulle innebära påverkas även av hinder och begränsningar framförallt för att kunna realiseras i en större utsträckning än vad som avgränsades i fallstudien.

En oro för många bilköpare när det gäller ägande och användning av rena elfordon är att räckvidden generellt sett är betydligt kortare jämfört med förbränningsfordon vilket dels leder till att laddningen av dessa fordon måste ske med andra mönster än konventionella fordon samt att räckvidden skapar en oro att batteriet blir tomt mitt i drift. Osäkerheten kring elfordons räckvidder och så kalla räckviddsångest bland konsumenter har tidigare studerats och visats vara ett påtagligt problem (Bonges and Lusk, 2016). Det är därför viktigt att tydligare anpassa infrastrukturen efter laddningsbehovet med hänsyn till räckvidd och fortsatt bygga ut det publika laddningsnätet. Detta gör troligtvis att många köpare i dagsläget väljer andra drivmedelstyper före eldrivna fordon. Dessutom är den förväntade räckvidden för ett elfordon inte ett absolut värde utan en uppskattning vid blandad körning. Tar man hänsyn dels till den förväntade övergången till WLTP och dessutom att en stor del energi går åt att värma kupén under vintertid eller vid dåligt väder skapar det ett hinder för dessa typer av fordon för vissa ändamål. Det går inte att garantera en viss räckvidd och det kan därför kräva att man behöver kompensera genom att köpa ett fordon med större batterikapacitet vilket kan medföra högre kostnader och mindre klimatmässig gynnsamhet. För det studerade företaget bedöms därför elfordonet med 18,7 kWh vara otillräckligt i de fall fordonen planeras att användas till landsvägkörning av längre sträckor.

Vid ett byte från i princip 100 % dieseldrivna fordon till ca hälften alternativt drivna fordon vilket beräknas enligt grundscenariot finns det en risk för skepticism och ett visst motstånd bland anställda inom företag eftersom det är en drastisk omställning (Burstein and West, 2018). Detta varierar mellan företag men oftast

krävs troligtvis en omställning i tankesättet för många av de anställda för att det ska fungera felfritt vilket potentiellt kan ta mycket tid och ansträngning inom företaget. En strategi för att genomföra en sådan omställning skulle därför kunna vara ett årsvis successivt utbyte där fordonen byts ut stegvis.

För företagets möjlighet att möta kommande krav som berör växthusgasutsläpp är det främst införandet av miljözoner som kan utgöra en påverkan. Det eventuella införandet av Miljözon 3 är dock det enda som skulle kunna påverka företagets fordonsflotta i dagsläget eftersom samtliga av företagets fordon har euroklass 6. Scenarioanalysen visade att både eldrivna fordon och gasdrivna fordon i många fall skulle kunna vara effektiva att byta till för Scenario 1, 2 och 4. Detta skulle innebära att företagets fordon i de fallen förväntas bli tillåtna även inom den mest strikta Miljözon 3. Eftersom Sveriges miljözoner politiskt fortfarande är i ett tidigt skede, särskilt för Miljözon 2 och 3, är det för tidigt att avgöra i vilken omfattning de nya zonerna förväntas införas och därmed om det kommer ha någon särskilt påverkan på företaget. Scenarioanalysen visar dessutom på potentialen för många fordon att bemöta de förväntade kraven för den mest strikta miljözonen redan under 2019.

En viktig faktor att belysa vid omställning till eldrivna fordonsparker är dagens litiumjonbatterier som med sin uppströmskedja i produktionen är beroende av metaller från utvecklingsländer. Eftersom dessa steg i produktionen ger upphov till en problematik hållbarhetsmässigt är det en stor osäkerhetsfaktor hur detta skulle påverka en elbilsindustri på frammarsch. Det är därför viktigt att beakta de nya utmaningar som uppstår i samband med en omställning till en fossiloberoende fordonspark. Det visar även på att det finns en problematik om man isolerar elfordon som den enda lösningen på en sådan omställning. Med hänsyn till hur problematiken ser ut i dagsläget är det därför viktigt att undersöka potentialen av flertalet alternativa drivmedel.

6 Slutsatser

Sammantaget tyder resultatet från fallstudien på att det finns potential till minskning av såväl livscykelutsläpp av växthusgaser som totala ägandekostnader för små servicefordon och tjänstefordon, med varierande magnitud beroende på val av fordons-/drivmedelstyp. För mellanstora och stora servicefordon finns det potential till minskning av livscykelutsläpp av växthusgaser vid byte till biodiesel för de mellanstora fordonen och byte till gasdrivna fordon för de stora fordonen. Störst potential till minskning av växthusgasutsläpp för de fordonstyperna finns i stora servicefordon eftersom gasdrivna fordon är tillgängliga för den kategorin. Beräkningarna visar dock på att det inte finns någon potential till kostnadsbesparingar för mellanstora och stora servicefordon vilket visar på en tydlig kontrast för möjlighet till effektiviseringar över samtliga fordonskategorier och att det krävs särskild effektivisering och teknikutveckling för servicefordon av storlek mellan och stor.

Resultatet från scenarioanalysens beräkningar tyder på att det finns en tydlig potential för minskning av livscykelemissioner av växthusgaser för företagets fordonspark oavsett val av scenario enligt denna studie. För totala ägandekostnader är resultatet betydligt mer osäkert och inga större besparingar likt för växthusgaser beräknas kunna göras men flertalet scenarier visar ändå att det finns en möjlig potential att minska kostnader i en viss omfattning för fordonsparken.

Särskild försiktighet kan vidtas för företag vid val av elfordon om fordonet förväntas köra längre sträckor med hänsyn till stora osäkerheter gällande fordonens räckvidd. I övrigt ser företaget inte ut att ha några särskilda hinder för att möta kommande lagkrav kopplade till växthusgasutsläpp från sina fordon under kommande år. Ur studiens resultat kan det konstateras att företaget har stor potential att fortsatt nå sina miljömål. Scenarioanalysen tyder även på att implementering av en sammansättning för ett företags fordonspark som innebär en större andel alternativa drivmedel har potential att vara ett viktigt steg för att nå de rådande nationella klimatmålen.

6.1 Förslag på fortsatta studier

Resultatet för jämförandet mellan konventionella fossila drivmedel och biodrivmedel tyder på att det hade varit intressant att för biodrivmedel studera mer utslagsgivande varianter (som exempelvis större andel inblandning av biodrivmedel) som hade kunnat leda till större skillnad i utsläppen vilket hade kunnat resultera i att potentiellt konkurrera med de övriga alternativa drivmedlen. Detta gällde särskilt för biobensinen som till följd av valet av emissionsfaktor gav en närmast obetydlig inverkan på de totala livscykelemissionerna av växthusgaser.

En annan möjlighet till fortsatta studier inom samma ämnesområde skulle kunna vara att fortsätta studien med att skapa ett 'drömscenario' vilket skulle kunna inkludera samtliga framtida/förväntade kommersiella fordonstyper på marknaden inklusive bränslecellsfordon vilka det i dagsläget inte finns tillräcklig statistik för. Detta scenario planerades genomföras för denna studie men uteslöts på grund av projektets tidsbegränsning. För att arbeta vidare med de kostnadsprioriterande scenarierna från denna rapport skulle det också kunna genomföras en generell optimering av programmeringsscriptet som har möjlighet att skapa ett scenario som beräknar största möjliga kostnadsbesparingar som samtidigt medför minsta möjliga växthusgasutsläpp i samma scenario.

Ett annat förslag på fortsatta studier skulle även kunna vara att integrera kostnader för publik laddning av eldrivna fordon. Detta uteslöts ur denna rapport på grund av dess stora osäkerheter.

Referenser

- Alltomelbil (2018). Jämför elbilar. <https://alltomelbil.se/jamfor-elbilar/> Hämtad [2019-01-11].
- AMF (2018). Diesel and gasoline. https://www.iea-amf.org/content/fuel_information/diesel_gasoline Hämtad [2019-12-08].
- Amsystem (2017). Förmånsbil – allt du behöver veta om regler, termer och skatter 2017. <https://amsystem.com/sv/story/formansbil/> Hämtad [2018-12-12].
- Anderson, S. and Einebrand, E. (2015). *Fakta om biogas - Aktuella forskningsresultat och fakta om biogas som fordonsbränsle, gasfordon, kostnader, miljö- och samhällsnyttor mm.* Västra Götalandregionen.
- Bauer, C., Hofer, J., Althaus, H.-J., Del Duce, A., and Simons, A. (2015). The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life cycle assessment based on a novel scenario analysis framework. *Applied Energy*, Volume 157. Hämtad [2019-01-11].
- Bergman, M. (2018). Lägesbeskrivning för Klimatklivet. Technical report. Hämtad [2019-04-07].
- BMW (2018). BMW i3 uppgraderas: Större batteri – längre räckvidd. http://www.mynewsdesk.com/se/bmw_group_sverige/pressreleases/bmw-i3-uppgraderas-stoerre-batteri-laengre-raeckvidd-2722731 (Pressmeddelande från BMW) Hämtad [2018-12-12].
- Boberg, P (2018). Begränsad miljöpåverkan. <https://naturvardsverket.se/Nyheter-och-pressmeddelanden/Nyhetsbrev/Miljomalsnytt/Artiklar-2019/Begransad-klimatpaverkan-intervju-med-Pelle-Boberg/> Hämtad [2018-08-24].
- Bonges, H. A. and Lusk, A. C. (2016). Addressing electric vehicle (EV) sales and range anxiety through parking layout, policy and regulation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 83, January 2016, Pages 63-73.
- Burstein, N. and West, L. (2018). Elbilen - en lönsam investering? Technical report, Mälardalens Högskola. Hämtad [2018-11-27].
- Carlson, R. and Pålsson, A.-C. (2011). *Livscykelanalys - Ringar på vattnet*. SIS Förlag.

- Chul Kim, H, T. J. W., Arsenault, R, C. B., and Ahn, S, J. L. (2016). Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion battery: A Comparative Analysis. *Environmental Science & Technology*.
- Circle K (2018). Aktuella drivmedelspriser för företagskunder. https://www.circlek.se/sv_SE/pg1334072868703/foretag/foretagskund/pris-foretagskund.html Hämtad [2018-12-12].
- Elforsk (2006). Miljövärdering av el – med fokus på utsläpp av koldioxid. Technical report. [2019-01-14].
- Energiföretagen (2017). Elproduktion. Technical report. Hämtad [2018-09-25].
- Energigas Sverige (2019). Tanka gas. <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/fordonsgas-och-gasbilar/tanka-gas/> Hämtad [2019-04-07].
- Energimyndigheten (2017a). Naturgas. <http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fossil-energi/Naturgas/> Hämtad [2019-01-16].
- Energimyndigheten (2017b). Värmevärden och emissionsfaktorer. <http://www.energimyndigheten.se/statistik/branslen/varmevarden-och-emissionsfaktorer1/> Hämtad [2018-01-15].
- Eriksson, M. and Ahlgren, S. (2013). LCAs of petrol and diesel. 2013:058, Swedish University of Agricultural Science. Hämtad [2019-01-16].
- Faria, R, P. M., Moura, P, F. F., and Delgado, J, A. T. d. A. (2013). Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 24, August 2013, Pages 271-287.
- Folksam (2015). Här är 2015 års säkraste och snålaste bilmodeller. Hämtad [2018-12-11].
- Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., and Bennehag, A. (2018). Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 62, July 2018, Pages 314-329.
- Hagman, J, S. R., Janhager Stier, J, Y. S., and (2016). Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion. *Research in Transportation Business & Management*, Volume 18, March 2016, Pages 11-17.

- Hall, D. and Lutsey, N. (2018). Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. Technical report, The International Council Of Clean Transportation. Hämtad [2018-11-27].
- Haponiuk, B. (2018). How to calculate depreciation. https://www.omnicalculator.com/finance/Car-depreciation#_how-to-calculate-depreciation Hämtad [2018-12-12].
- Healy, J. (2017). euro emission standards explained. <https://www.carkeys.co.uk/guides/euro-emission-standards-explained> Hämtad [2018-12-12].
- Holm, P. (2013). Miljövärdering av energianvändningen i ett fastighetsbestånd. Technical report, Enheten för fastighetsutveckling, Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag, Stockholm. Hämtad [2018-09-25].
- Hyundai (2018). Hur står sig IONIQ electric mot konkurrenterna? <https://www.hyundai.se/jamfor-elbilar> Hämtad [2018-12-12].
- Krafttringen (2018). Enhetsbyte till kg. <https://www.krafttringen.se/Privat/Fordonsgas/Enhetsbyte-till-kg/> Hämtad [2018-12-12].
- Kågeson, P. (1998). Cycle-Beating and the EU Test Cycle for Cars. Technical Report 98/3, European Federation for Transport and Environment. Hämtad [2018-09-24].
- Lewald, A. and Wikström, M. (2018). Laddinfrastruktur. <http://www.energimyndigheten.se/klimat-miljo/transporter/energieffektiva-och-fossilsfria-fordon-och-transporter/laddinfrastruktur/> Hämtad [2018-12-12].
- Lilja, H. and Stjernvall, C.-E. (2018). Nya regler för gasbilar hindrar omställningen. <https://www.nyteknik.se/opinion/nya-regler-for-gasbilar-hindrar-omställningen-6934415> Hämtad [2019-01-21].
- Macbeth, I. (2012). Sustainable fleet management guide. Technical report, Transport for London. Hämtad [2018-11-27].
- Miljöfordon (2017a). Bränslecellsbil. <https://www.miljofordon.se/bilar/braenslecellsbil/> Hämtad [2018-09-25].
- Miljöfordon (2017b). Elbil och laddhybrid. <https://www.miljofordon.se/bilar/elbil-och-laddhybrid/> Hämtad [2018-09-25].

- Miljöfordon (2017c). Elhybrid. <https://www.miljofordon.se/bilar/elhybrid/> Hämtad [2018-09-25].
- Miljöfordon (2018). Miljöfordon. <https://www.miljofordon.se/bilar/soek-bil/> Hämtad [2018-12-12].
- Mitsubishi Motors (2018). Laddhybrid - Vi förklarar begreppet. <https://mitsubishimotors.se/kopa-aga/laddhybrid> Hämtad [2018-09-25].
- Mizsey, P. and Newson, E. (2001). Comparison of different vehicle power trains. Technical Report DOI:10.1016/S0378-7753(01)00802-3.
- Morfeltdt, J. (2018). Förklaring av termer. <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Berakna-dina-klimatutslapp/Forklaring-av-termer/> Hämtad [2018-12-11].
- Musti, S. and Kockelman, K. M. (2011). Evolution of the household vehicle fleet: Anticipating fleet composition, phev adoption and GHG emissions in Austin, Texas. Technical Report DOI: 10.1016/j.tra.2011.04.011.
- Naturvårdsverket (2017). Bränsleanvändning för bensin- och dieslbilar. Hämtad [2018-12-12].
- Nilsson, J. (2016). How good are electric cars? – An environmental assessment of the electric car in Sweden from a life cycle perspective. Technical report, Lunds Universitet. Hämtad [2018-11-27].
- Nordelöf, A, M. M., Tillman, A-M, M. L. S., and Van Mierlo, J (2014). Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles — what can we learn from life cycle assessment? Technical Report 19:1866–1890. Hämtad [2018-12-12].
- Nykvist, B. and Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. (Nature Climate Change 5(4):329-332). Hämtad [2020-01-19].
- OKQ8 (2018). Hållbara drivmedel. Technical Report 2018/19.
- Personlig information (2018). Personlig sekretessbelagd information från företaget.
- Preem (2018). Drivmedelspriser. <https://www.preem.se/foretag/kund-hos-preem/drivmedelspriser/> Hämtad [2018-12-12].
- Rabe, M. (2018). Så långt kan 11 laddhybrider köra på el – sedan är batteriet tomt. *Teknikens Värld*. <https://teknikensvarld.se/sa-langt-kan-11-laddhybrider-korapa-el-sedan-ar-batteriet-tomt-623138/> Hämtad [2018-12-12].

- Regeringskansliet (2016). Sveriges handlingsprogram för infrastrukturen för alternativa drivmedel i enlighet med direktiv 2014/94/EU. Technical Report N2016/07176/MRT, Näringsdepartementet. Hämtad [2018-12-12].
- Regeringskansliet (2017a). Bonus-Malus och bränslebytet. <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/09/bonus-malus-och-branslebytet/> (Pressmeddelande från Näringsdepartementet) Hämtad [2018-09-25].
- Regeringskansliet (2017b). Nya CO₂-krav för lätta bilar. Technical Report 2017/18:FPM33, Miljö- och energidepartementet. Hämtad [2018-12-12].
- Regeringskansliet (2018). Förordningsändringar om miljözoner. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/08/forordningsandringar-om-miljozoner/> (Pressmeddelande från Finansdepartementet) Hämtad [2018-12-12].
- Renault (2018). Renault ZOE. Hämtad [2018-12-12].
- Romare, M. and Dahllöf, L. (2017). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. *Procedia CIRP*, Volume 80, 2019, Pages 316-321. Hämtad [2018-09-25].
- Samaras, C. and Meisterling, K. (2008). Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy. Technical report, Department of Engineering and Public Policy, and Department of Civil and Environmental Engineering. Hämtad [2018-12-12].
- Saxton, B. (2017). Prognoser för fordonsflottans utveckling i Sverige. Technical Report 2017:8, Trafikanalys. Hämtad [2018-12-11].
- Strömfelt, G. and Österqvist, E. (2017). Strategi för utbyggnad av laddstationer. Technical report, Länsstyrelsen i Uppsala län. Hämtad [2018-12-12].
- Svensk Energi (2012). Vägledning angående ursprungsmärkning av el. Technical report. Hämtad [2019-01-14].
- Svenska Oljebolaget (2018a). Bensin. <https://svenskaoljebolaget.se/bensin/> Hämtad [2018-09-25].
- Svenska Oljebolaget (2018b). Diesel. <https://svenskaoljebolaget.se/diesel/> Hämtad [2018-09-25].

- Söderholm, E. (2017). Så mycket kostar mest sålda bilarna att serva – stora skillnader. <https://www.mestmotor.se/automotorsport/artiklar/nyheter/20170620/sa-mycket-kostar-mest-salda-bilarna-att-serva-stora-skillnader/>
<https://www.msn.com/sv-se/motor/nyheter/vi-granskar-s%C3%A5-mycket-kostar-bilens-service-%E2%80%93-stora-skillnader/ar-BBJSdCS> Hämtad [2018-12-12].
- Söderholm, E. (2018). Nytt räckviddtest: Så långt kommer elbilen – Renault och Hyundai får pluspoäng. *Mestmotor*. <https://www.mestmotor.se/recharge/artiklar/nyheter/20171211/nytt-rackviddtest-sa-langt-kommer-elbilen-renault-och-hyundai-far-pluspoang/> Hämtad [2018-12-12].
- Takaishi, T., Numata, A., Nakano, R., and Sakaguchi, K. (2008). Approach to High Efficiency diesel and Gas Engines. Technical report. Hämtad [2019-01-11].
- Tokimatsu, K, M. H., Mclellan, B, H. W., Murakami, S, R. Y., and Nishio, M (2018). Energy modeling approach to the global energy-mineral nexus. Technical Report DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.05.047.
- Toyota (2020). Laddhybrid. <https://www.toyota.se/laddhybrid/index.json> Hämtad [2020-11-08].
- Trafikverket (2017a). Emissionsfaktorer. In *Handbok för vägtrafikens luftföroreningar*. Hämtad [2018-09-25].
- Trafikverket (2017b). Vägtrafikens utsläpp. <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo—for-dig-i-branschen/energi-och-klimat/Transportsektorns-utslapp/Vagtrafikens-utslapp/> Hämtad [2018-09-24].
- Transportstyrelsen (2018a). Bonus malus-system för personbilar, lätta lastbilar och lätta bussar. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/bonus-malus/> Hämtad [2018-12-12].
- Transportstyrelsen (2018b). Koldioxidutsläpp personbilar 2012-2017. Hämtad [2018-12-11].
- Transportstyrelsen (2018c). Malus - förhöjd fordonsskatt. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/bonus-malus/malus2/> Hämtad [2018-12-12].

Transportstyrelsen (2018d). Miljöklassade bränslen. <https://transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Miljo/Luftkvalitet-i-tatorter/Miljoklassade-branslen/> Hämtad [2018-12-11].

Transportstyrelsen (2018e). Miljözoner. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/miljo/miljo> Hämtad [2018-12-15].

Tsiakmakis, S, G. F., Cubito, C, J. P., and Anagnostopoulos, K, B. C. (2017). From NEDC to WLTP: effect on the type-approval CO₂ emissions of light-duty vehicles. Technical Report EUR 28724 EN, European Commission. Hämtad [2019-01-16].

UN (2018). Goal 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change-2/> Hämtad [2018-12-11].

Van Mierlo, J., Messagie, M., and Rangaraju, S. (2016). Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. Technical report. Hämtad [2019-01-11].

Vehicle Certification Agency (2018). Van CO₂ and fuel consumption database. <https://vanfueldata.vehicle-certification-agency.gov.uk/> Hämtad [2018-12-12].

Volkswagen (2018). Modeller. <https://www.volkswagen-transportbilar.se/sv/bilmodeller.html> Hämtad [2018-12-11].

Wagner, Tzscheuschler, P, and Eckl, R (2003). Energetic life cycle assessment of fuel cell powertrain systems and alternative fuels in Germany. Technical Report DOI:10.1016/j.energy.2005.10.031.

Wallmark, C., Mohseni, F., and Geert, S. (2014). Vätgasinfrastruktur för transporter. Technical Report HIT-1 NIP-SE, Sweco. Hämtad [2018-09-25].

Yuksel, T. and Michalek, J. (2015). Effects of Regional Temperature on Electric Vehicle Efficiency, Range, and Emissions in the United States. Technical report. Hämtad [2019-01-11].

Östlund, D. (2018). Bonus malus tar död på etanolbilen. <https://www.bytbil.com/nyheter/bonus-malus-tar-dod-pa-etanolbilen-10538> Hämtad [2018-09-25].

A Appendix

A.1 Lista på referenser som använts för batteristorlekar och bränsleförbrukning

Tabell A1: Lista på referenser som använts för batteristorlekar och bränsleförbrukning

Fordonstyper	Använd källa för batteristorlek
Elfordon skåp, 26,7 kWh	(Miljöfordon, 2018)
Elfordon 39 kWh	(Miljöfordon, 2018)
Elfordon 18.7 kWh	(Söderholm, 2018)
Elfordon 100 kWh	(Miljöfordon, 2018)
Laddhybrid	(Rabe, 2018)
Elhybrid	(Miljöfordon, 2018)
Fordonstyper	Använd källa för bränsleförbrukning
Konventionell diesel	(Vehicle Certification Agency, 2018)
Konventionell bensin	(Vehicle Certification Agency, 2018)
Elfordon skåp. 26,7 kWh	(Miljöfordon, 2018)
Gasfordon	(Miljöfordon, 2018)
Mellanstora servicefordon	
Konventionell diesel	(Vehicle Certification Agency, 2018)
Stora servicefordon	
Konventionell diesel	(Vehicle Certification Agency, 2018)
Gasfordon	(Miljöfordon, 2018)
Tjänstefordon	
Konventionell Diesel	(Naturvårdsverket, 2017)
Konventionell Bensin	(Naturvårdsverket, 2017)
Fordonsgas	(Miljöfordon, 2018)
Elfordon 39 kWh	(Hyundai, 2018); (BMW, 2018); (Renault, 2018)
Elfordon 18,7 kWh	(Hyundai, 2018)
Elfordon 100 kWh	(Miljöfordon, 2018)
Laddhybrid	(Miljöfordon, 2018)
Elhybrid	(Miljöfordon, 2018)

A.2 Programkod från Python

```
import pandas as pd
from itertools import chain
from collections import defaultdict

BIODIESEL = "Biodiesel B25.5 (25% inblandning av FAME/HVO)"
BIOBENSIN = "Biobensin E4.8 (4.8% bioinblandning)"
DIESEL = "Konventionell diesel"
BENSIN = "Konventionell bensin"
ELFORDON_17 = "Elfordon. 18.7 kWh"

car_cats = {
    "service": {
        "small": ["VW CADDY", "VW TRANSPORT"],
        "medium": ["MB VITO", "VW TRANSPORTER"],
        "big": ["MB SPRINTER", "VW CRAFTER"],
    },
    "work": [
        "AUDI A6",
        "AUDI Q5",
        "BMW 220D",
        "BMW 318D",
        "BMW 320D",
        "SKODA SUPERB",
        "VOLVO S60",
        "VOLVO S90",
        "VOLVO V60",
        "VOLVO V90",
        "VOLVO XC40",
        "VOLVO XC60",
        "VOLVO XC70",
        "VW PASSAT",
        "VW TIGUAN",
        "VW TOUAREG",
    ],
}

service_brands = set(chain(*car_cats["service"].values()))
work_brands = set(car_cats["work"])
```

```

def write_excel(file_name: str, sheets):
    writer = pd.ExcelWriter(f"{file_name}.xlsx")
    [df.to_excel(writer, sheet) for sheet, df in sheets.items()]
    writer.save()

def read_csv(file_name: str, **args: dict) -> pd.DataFrame:
    return pd.read_csv(filepath_or_buffer=file_name, **args)

def file_name_suffix(name: str) -> str:
    return name[name.rfind("_") + 1 : -4]

def scen1_a(totals, df_cars):
    df = df_cars.query("(brand in @service_brands & year < 2015) | (brand in @work_vehicles)")
    return totals, df

# Remove biodiesel from all
def scen1_b(totals, df_cars):
    d = {}
    _, df_cars = scen1_a(totals, df_cars)
    for cat, df in totals.items():
        remaining = df.drop(df[(df["fuel"] == BIODIESEL) | (df["fuel"] == BIOBENSIN)])
        d[cat] = remaining
    return d, df_cars

def scen1_c(totals, df_cars):
    # Samma som scenario 1, men räkna med svensk elmix.
    elmixes = {
        "small": {"Elfordon skåp. 26.7 kWh": 11656},
        "work": {"Elfordon. 39 kWh": 13647, "Elfordon. 18.7 kWh": 10082, "Elfordon. 15.7 kWh": 10082}
    }
    _, df_cars = scen1_a(totals, df_cars)
    for cat, df in totals.items():
        if cat not in elmixes:

```

```

        continue
    for fuel, val in elmixes[cat].items():
        df.loc[df["fuel"].str.contains(fuel), "$CO_{2}$"] = val

return totals, df_cars

def scen1_d(totals, df_cars):
    # Samma som scenario 1, men räkna med europeisk elmix.
    elmixes = {
        "small": {"Elfordon skåp. 26.7 kWh": 21740},
        "work": {"Elfordon. 39 kWh": 17194, "Elfordon. 18.7 kWh": 13114, "Elfordon
    }
    _, df_cars = scen1_a(totals, df_cars)
    for cat, df in totals.items():
        if cat not in elmixes:
            continue
        for fuel, val in elmixes[cat].items():
            df.loc[df["fuel"].str.contains(fuel), "$CO_{2}$"] = val

    return totals, df_cars

def scen2(totals, df_cars):
    # Byt färre fordon, sätt mängden utbytta fordon till 10% => 28 av 282.
    sorted_cars = df_cars.sort_values(by=["$CO_{2}$"], ascending=False)
    return totals, sorted_cars.iloc[: len(sorted_cars) // 10, :]

def scen3(totals, df_cars):
    d = {}
    _, df_cars = scen1_a(totals, df_cars)
    for cat, df in totals.items():
        d[cat] = df[(df["fuel"] == BENSIN) | (df["fuel"] == DIESEL)]
    return d, df_cars

def scen4(totals, df_cars):
    # Byt samtliga fordon, även om leasingperioden inte utgått, förutsatt att det
    return totals, df_cars

```

```

def scen6_a(totals, df_cars):
    _, df_cars = scen1_a(totals, df_cars)
    return totals, df_cars

def scen6_b(totals, df_cars):
    _, df_cars = scen1_a(totals, df_cars)
    return totals, df_cars

def copy_df_totals(df_totals):
    d = {}
    for cat, df in df_totals.items():
        d[cat] = df.copy()
    return d

def filter_better_${CO}_{2}$ (df, cat_${CO}_{2}$_dict):
    b = pd.DataFrame()
    for cat, ${CO}_{2}$ in cat_${CO}_{2}$_dict.items():
        a = (df["category"] == cat) & (df["${CO}_{2}$"] > ${CO}_{2}$)
        b = b.append(df[a == True])
    return b.sort_index()

# Find best fuel value for every category
def find_opt_${CO}_{2}$ (scen, df_cars, df_totals):
    cat_${CO}_{2}$_dict = {}
    ${CO}_{2}$_fuel_dict = {}
    totals, cars = copy_df_totals(df_totals), df_cars.copy()
    d, df_cars = scen(totals, cars)
    for cat, df in d.items():
        min_idx = df["${CO}_{2}$"].idxmin()
        fuel, ${CO}_{2}$ = df.loc[min_idx].values
        cat_${CO}_{2}$_dict[cat] = ${CO}_{2}$
        ${CO}_{2}$_fuel_dict[${CO}_{2}$] = fuel
    return df_cars, cat_${CO}_{2}$_dict, ${CO}_{2}$_fuel_dict

```

```

def get_car_cat(brand):
    if brand in work_brands:
        return "work"
    for k, v in car_cats["service"].items():
        if brand in set(v):
            return k
    raise Exception(f"Could not classify brand {brand}")

def optimize_big(df, cat_${CO}_{2}$_dict):
    # Only replace if medium is better than big
    if cat_${CO}_{2}$_dict["big"] < cat_${CO}_{2}$_dict["medium"]:
        return df, pd.DataFrame()
    candidates = df.query("category == 'big' & (region == 'ÖST' | region == 'SYD'
        "${CO}_{2}$", ascending=False
    )
    candidates = candidates.iloc[: len(candidates) // 4]
    df_replaced = df.copy()
    df_replaced.loc[candidates.index, "category"] = "medium"
    return df_replaced, candidates

def find_best_fuels(df, cat_${CO}_{2}$_dict, ${CO}_{2}$_fuel_dict):
    df = filter_better_${CO}_{2}$ (df, cat_${CO}_{2}$_dict)
    df, big_replaced = optimize_big(df, cat_${CO}_{2}$_dict)
    df = df.assign(new_${CO}_{2}$=[cat_${CO}_{2}$_dict[cat] for cat in df["category"]])
    df = df.assign(new_fuel=[${CO}_{2}$_fuel_dict.get(${CO}_{2}$, None) for ${CO}_{2}$ in df[${CO}_{2}$]])
    return df, big_replaced

def assign_costs(name, df):
    copy = df.copy()
    for type_, dict_ in df_costs.items():
        for cat, cost_df in dict_.items():
            c = df_costs[type_][cat]
            a = df[(df["category"] == cat)]
            new_col = f"{type_}_cost"
            if new_col == "new_fuel_cost" and name in cost_scenarios:
                continue

```

```

        b = a.join(c.set_index(type_), on=type_)["cost"]
        if new_col in copy.columns:
            b = b.rename(new_col)
            copy.update(b)
        else:
            copy = copy.assign(**{new_col: b})
    return copy

def run_scenarios(scenarios, df_cars, df_totals):
    sheets = {}
    for scen in scenarios:
        name = scen.__name__
        print(name)
        df, big_replaced = find_best_fuels(*find_opt_$CO_{2}$$(scen, df_cars, df_totals)
        df = assign_costs(name, df)
        df.loc[big_replaced.index, "category"] = "big" # Show the 25% cars as big
        if name in cost_scenarios:
            df = run_cost_scenario(name, df)
        df = df_cars.combine_first(df)
        df = assign_costs(name, df)
        sheets[name] = df
    return sheets

def fuel_to_$CO_{2}$():
    d = defaultdict(dict)
    for cat, df in df_totals.items():
        for index, row in df.iterrows():
            d[cat][row["fuel"]] = row["$CO_{2}$"]
    return d

def scen6_a_fuel_costs(fuel_dict):
    return fuel_dict

def scen6_b_fuel_costs(fuel_dict):
    d = {}
    for cat, df in fuel_dict.items():

```

```

        d[cat] = df[df["new_fuel"] != ELFORDON_18.7]
    return d

def min_fuel_cost(df):
    min_idx = df["cost"].idxmin()
    return df.iloc[min_idx]

def run_cost_scenario(scen, df):
    fuel_${CO_2}$_dict = fuel_to_${CO_2}$()
    copy = df.copy()
    copy.loc[:, "new_fuel_cost"] = None
    fuel_dict = globals()[f"{scen}_fuel_costs"](df_costs["new_fuel"])
    for cat, df_cost in fuel_dict.items():
        min_fuel, min_val = min_fuel_cost(df_cost)
        if cat == "big":
            f2, c2 = min_fuel_cost(fuel_dict["medium"])
            if c2 < min_val:
                top25 = copy[
                    (copy["category"] == "big")
                    & (copy["brand_cost"] > c2)
                    & ((copy["region"] == "SYD") | (copy["region"] == "VÄST") | (copy["region"] == "SÖD"))
                ].sort_values("brand_cost", ascending=False)
                top25 = top25.iloc[: len(top25) // 4].index
                rest = copy[(copy["category"] == cat) & (copy["brand_cost"] > min_val)]
                copy.loc[rest, "new_fuel_cost"] = min_val
                copy.loc[top25, "new_fuel_cost"] = c2
                copy.loc[rest, "new_cost_fuel"] = min_fuel
                copy.loc[top25, "new_cost_fuel"] = f2
                copy.loc[rest, "new_cost_fuel_${CO_2}$"] = fuel_${CO_2}$_dict[cat]
                copy.loc[top25, "new_cost_fuel_${CO_2}$"] = fuel_${CO_2}$_dict[cat]
            else:
                a = copy[(copy["category"] == cat) & (copy["brand_cost"] > min_val)]
                copy.loc[a.index, "new_fuel_cost"] = min_val
                copy.loc[a.index, "new_cost_fuel"] = min_fuel
                copy.loc[a.index, "new_cost_fuel_${CO_2}$"] = fuel_${CO_2}$_dict[cat]
    return copy

```

```

def read_totals():
    total_names = ["fuel", "$CO_{2}$"]
    return {
        file_name_suffix(name): read_csv(file_name=name, encoding="utf-8", names=t
        for name in total_csvs
    }

def read_costs():
    df_costs = defaultdict(dict)

    for csv in costs_csvs:
        type_, cat = csv[:-4].split("_")
        col = type_ if type_ == "brand" else f"new_{type_}"
        df = read_csv(file_name=f"kostnader/{csv}", names=[col, "cost"], header=0)
        if type_ == "brand":
            df[type_] = df[type_].str.upper()
        df_costs[col][cat] = df
    return df_costs

def read_cars():
    df_new_$CO_{2}$ = read_csv(file_name="fordonspark.csv", encoding="utf-8", head
    df_cars = pd.read_csv(
        "cars.csv",
        encoding="latin1",
        sep=";",
        header=0,
        names=["license_nbr", "brand", "year", "driver", "region", "consumption",
    )
    df_cars["brand"] = df_cars["brand"].apply(lambda b: " ".join(b.upper().split("
    df_cars = df_cars.assign(category=[get_car_cat(brand) for brand in df_cars["br
    df_cars["$CO_{2}$"] = df_new_$CO_{2}$["$CO_{2}$"]
    return df_cars

if __name__ == "__main__":
    total_csvs = ["total_service_big.csv", "total_service_medium.csv", "total_serv
    costs_csvs = [
        "brand_big.csv",

```

```

        "brand_small.csv",
        "fuel_big.csv",
        "fuel_small.csv",
        "brand_medium.csv",
        "brand_work.csv",
        "fuel_medium.csv",
        "fuel_work.csv",
    ]
    df_totals = read_totals()
    df_costs = read_costs()
    df_cars = read_cars()

    cost_scenarios = {"scen5_a", "scen5_b"}
    scenarios = [scen1_a, scen1_b, scen1_c, scen1_d, scen2, scen3, scen4, scen5_a,
    sheets = run_scenarios(scenarios, df_cars, df_totals)
    write_excel("isak", sheets)

```