



CHALMERS

Elbilsguiden

Modellering av klimatmässig och ekonomisk påverkan vid ett nybilsköp

Anton Alexandersson, Gulled Faisal, Anna Karlsson
Louise Lorentzon, Aron Sai, Anto Vrancic

Kandidatarbete ENMX02-17-04

Institutionen för Energi och Miljö
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2017

Abstract

The purpose of this project is to produce models for calculating the financial and climatic effects of an investment in a new car. Furthermore, the models are aimed at individuals who are thinking about purchasing an electric vehicle and therefore a secondary purpose is to create an interface through which the models' results can be communicated.

The models have been produced through a thorough study of literature such as scientific reports, and the web pages of different authorities. The width of the project has required a wide variety of sources of information. The project contains many aspects and the limited time has meant that wide assumptions and simplifications have been made. These are in some cases also caused by confidentiality or the lack of information about a new technology.

The result of the project is a set of models and a web site through which these can be accessed by individuals in order to receive recommendations specific to their needs. The models for climatic effects provide the total emissions of carbon dioxide of its equivalents that occur during a car's production, use and recycling. The models for financial effects provide the monthly cost of the investment during the ownership period. The website then presents the car models which fit the individual best.

An analysis of the calculation models shows robustness. The emissions that occur during battery production and the development of the residual value are two factors that clearly need further inquiry. The models are finally visualised through the points of break even between the vehicles and through case studies.

The guide to electric vehicles is available at www.elbilsguiden.com.

Nyckelord:

battery electric vehicle, BEV, plug-in hybrid electric vehicle, PHEV, internal combustion engine vehicle, ICEV, carbon dioxide emissions, LCA, TCO

Sammanfattning

Projektet syftar till att ta fram beräkningsmodeller för att hjälpa en privatperson som står inför ett bilsköp om investeringens ekonomiska och klimatmässiga påverkan. Vilken bilmodell som passar konsumentens behov och vanor presenteras även för att göra valet av bil enkelt som möjligt. Målet med studien är att kunna ta reda på när en elbil blir konkurrenskraftig jämfört med motsvarande bränslebil för en privatperson. Ett sekundärt syfte är att skapa ett gränssnitt för att presentera denna information via en webbaserad tjänst. Modellerna har tagits fram genom en grundläggande undersökning av litteratur så som forskningsartiklar, samt olika myndigheters hemsidor. Bredden av studien har krävt ett stort spann av informationskällor. Studien är allomfattande och har gjorts under en tidsbegränsning som erfordrat flera antaganden och förenklingar, som i vissa fall beror på saknaden av information som kan bero på sekretess eller allmän brist på data på grund av ny teknik.

Projektet resulterade i beräkningsmodeller och en webbsida där dessa kan nyttjas av individer för att få personligt anpassade rekommendationer. Beräkningsmodeller för klimatpåverkan tar fram koldioxidutsläpp eller -ekvivalenter för bilens tillverkning, drift och återvinning. De ekonomiska modellerna resulterar i en månadskostnad över ägandeperioden. Webbsidan presenterar därefter de bilmodeller som passar användaren bäst. En analys av modellerna visar på en genomgående robusthet. Utsläppen vid batteritillverkning och restvärdesutveckling är två faktorer som tydligt behöver vidare utredning. Modellerna visualiseras därefter med hjälp av brytpunktsanalyser och fallstudier.

Elbilsguiden går att nå via www.elbilsguiden.com.

Nyckelord:

elbil, laddhybrid, bränslebil, koldioxidutsläpp, LCA, TCO

Definitioner

- **Elbil alt. EV:** En laddningsbar bil som drivs endast på elektricitet.
- **Hybridbil alt. PHEV:** En bil som drivs både på elektricitet och fossila bränslen, så som bensin, diesel eller gas. I den här studien behandlas endast de bilar som kan laddas från elnätet, så kallade laddhybrider.
- **Bränsle driven bil alt. ICEV:** Avser en konventionell bil som drivs av fossila bränslen.
- **Elmix:** Generellt accepterad term som avser de utsläpp, i kilogram koldioxid, som krävs för att producera 1 kWh elektricitet [1]. Hur stora utsläpp som genereras vid produktionen av elektricitet skiljer sig från land till land beroende på hur elektriciteten producerats, och därför har varje land en egen elmix som sammanfattar koldioxidutsläppen. [2].
- **LCA:** En förkortning för verktyget Life Cycle Analysis. Den innebär att alla utsläpp som en produkt genererar under hela sin livstid, från vaggan till grav, beräknas samt analyseras för att kunna ta beslut om vilka delar i kedjan som kan förbättras. Det här innefattar tillverkning, användning samt återvinning alternativt skrotning.
- **Ägandehorisont:** Tiden i år som konsumenten i fråga antas äga bilen
- **TCO:** Står för Total Cost of Ownership och är ett verktyg för att beräkna alla kostnader för en produkt under en hel ägandeperiod.
- **Restvärde:** Det andrahandsvärde som en bilägare kan sälja sitt fordon för vid en viss tidpunkt.
- **Annuitetslån:** En låneform som innebär att låntagaren betalar ett fast belopp per period för ränta och amortering.
- **Amortering:** Avbetalning av ett lån.
- **Breakeven:** En tidpunkt då två olika alternativ når samma resultat, alltså är lika bra. Kan handla om ekonomisk kostnad eller utsläppsmässiga avtryck
- **Bilsegment** I rapporten används europeiska bilsegment med beteckningar A, B, C, D, E, F, J, M och S för att bland annat kunna differentiera olika bilstorlekar. A-E är personbilar i växande storleksordning, F är lyxbilar, J är stadsjeepar, M är minibussar samt skåpbilar och S är sportbilar.
- **Leasing:** Term som vanligtvis används för långtidsuthyrning av bil.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Problemformulering	1
1.2.1 Koldioxidutsläpp	1
1.2.2 Ekonomi	2
1.2.3 Gränssnitt	2
1.3 Avgränsningar	2
1.3.1 Utsläppsmässiga avgränsningar	3
1.3.2 Ekonomiska avgränsningar	3
1.4 Disposition	3
2 Teori	5
2.1 Hur elbilar, hybrider och bränslebilar skiljer sig åt	5
2.2 LCA: Life Cycle Analysis	6
2.3 Litteraturstudie	8
2.3.1 Verktyget LCA i studier	8
2.3.2 Total ägandekostnad	8
3 Metod	10
3.1 Metod: Koldioxidutsläpp	10
3.2 Metod: Ekonomi	10
3.3 Metod: Gränssnitt	10
4 Gemensam data	12
5 Genomförande: Modellering av koldioxidutsläpp	13
5.1 Kalkyl för tillverkning	13
5.1.1 Batteritillverkning	13
5.1.2 Fordonstillverkning	13
5.2 Kalkyl för återvinning	15
5.3 Delat ansvar för koldioxidutsläpp	16
5.4 Utsläpp vid drift	16
5.4.1 Elbil	16
5.4.2 Bränslebil	17
5.4.3 Hybridbil	17
6 Genomförande: Ekonomi	18
6.1 Utgifter	18
6.1.1 Investeringsrelaterade utgifter	18
6.1.2 Legala utgifter	19
6.1.3 Driftrelaterade utgifter	19
6.1.4 Utgifter relaterade till bilens skötsel	20
6.2 Restvärde och finansiering	21
6.2.1 Restvärde	21
6.2.2 Finansiering och ränteläge	21
7 Genomförande: Applikationen Elbilsguiden	23
8 Resultat	25
8.1 Koldioxidutsläpp vid tillverkning	25
8.1.1 Tillverkningskalkylen i praktiken	25
8.2 Koldioxidutsläpp under återvinningen	26
8.2.1 Återvinningskalkylen i praktiken	27
8.3 Koldioxidutsläpp under användningsfasen	27
8.3.1 Driftkalkylen i praktiken	28
8.3.2 Hybridbils drift i praktiken	29
8.4 Klimatpåverkan som härleds till första ägaren	29

8.5	Klimatpåverkan vid vidareförsäljning	30
8.6	Ekonomiska resultat	31
8.7	Resultat: Gränssnitt	34
9	Analys och diskussion	36
9.1	Koldioxidutsläpp	36
9.2	Känslighetsanalys: koldioxidutsläpp	36
9.3	Ekonomi	38
9.3.1	Känslighetsanalys: ekonomi	39
9.4	Gränssnitt	41
9.5	Brytpunkter och lönsamhetsanalys	42
9.5.1	Fallstudier	44
10	Slutsats	48
11	Appendix	52
11.1	Insamlad data om bilmodeller på svenska marknaden	52
11.2	Insamlad data om andrahandspriser för bilar	54
11.3	Klimatpåverkan under batteriproduktion	58

1 Inledning

Elbilen är en långt ifrån ny uppfinning, ett första brukbart elfordon konstruerades redan på 1800-talet i Storbritannien. I 1900-talets USA fick innovationen sitt första verkliga genomslag, men förlorade snabbt sin popularitet. Detta på grund av den korta räckvidden som endast var tre mil under perfekta väg- och väderförhållanden [3]. Den korta räckvidden hos elbilen kombinerad med dåliga väglag under 1900-talet gjorde bränslebilen mer konkurrenskraftig än elbilen på den tiden.

På senare år har elbilen återinträtt på bilmärknaden med förbättrade batterier och längre räckvidd. En stor orsak till det ökande intresse för elbilar är att fler konsumenter blir allt mer miljömedvetna och vill ha hållbara transportalternativ. Även myndigheternas krav på minskade koldioxidutsläpp och bättre luft i städerna är en bidragande orsak. Det här till följd av att utsläpp av växthusgaser i stor utsträckning kunnat kopplas till bilåkande [4]. Växthusgaser har identifierats som en bidragande faktor till den globala uppvärmningen av jordens medeltemperatur, vilket får en rad följder så som stigande havsnivåer, naturkatastrofer, spridning av sjukdomar och extremväder [5]. Att minska utsläppen av växthusgaser, genom att förespråka elbilar, är ett mål för många länder runtom i världen [5]. Det här syns i Sverige bland annat genom att antalet laddstationer på allmänna platser ökar, och att diverse subventioner finns tillgängliga för privatpersoner som gör en elbilsinvestering [6][7]. Allt det här gör både elbilen och laddhybriden mer attraktiv ur både ett ekonomiskt och ett praktiskt perspektiv. Laddhybrider ger användaren möjligheten att köra kortare sträckor på enbart elmotorn och har därför liknande fördelar när det kommer till koldioxidutsläpp. Att välja en elbil eller en laddhybrid framför en konventionell bil kan anses naturligt för den som med gott samvete vill kunna ta del av de fördelar som bilåkandet medför, det är dock långt ifrån alla som väljer, eller ens överväger, en elbil eller laddhybrid vid fordonsköp. Utöver att båda biltyperna ofta har ett högre inköpspris än en motsvarande konventionell bränslebil, kan även kostnader för en laddningsstation förekomma. I en undersökning gjord av Teknikens Värld har två versioner av samma bilmodell jämförts, där den ena har en elmotor och den andra är bränsle driven. Det framgår då att elbilen är ungefär 46 % dyrare än sin bränsle drivena motsvarighet [8]. Det högre inköpspriset grundar sig i den stora resursåtgång som krävs för att tillverka batterierna till elbilen, både med avseende på kapital och naturtillgångar [9]. Tillverkningen av elbilar sker i mycket mindre skala vilket också bidrar till högre marginalkostnader. Samtidigt är driftkostnaderna för en elbil lägre: i ovan nämnda undersökning är eldriften 83 % billigare än bränsle driften [8].

Utöver det så är laddningstiden för en elbil längre än tanktiden för en bränslebil, vilket gör att en potentiell elbilköpare tvingas överväga att installera en laddstation hemma av praktiska skäl. Samtidigt är räckvidden för elbilar generellt kortare än för motsvarande bränsle bilar, vilket kombinerat med den långa laddtiden gör elbilen mindre flexibel. Laddhybriden är ofta dyrare än bränslebilen, och måste även den laddas för att kunna utnyttja klimatfördelarna med den. Ovanstående faktorer bidrar till att en privatperson som står inför en bilinvestering har ett komplext beslut framför sig.

1.1 Syfte

Projektet syftar till att ta fram relevanta beräkningsmodeller för att informera privatpersoner som överväger att investera i en ny elbil om ekonomiska och klimatomfattiga konsekvenser. Ett sekundärt syfte är att skapa ett gränssnitt och presentera beräkningsmodellerna för användaren via en webbaserad tjänst.

1.2 Problemformulering

Det krävs god kunskap inom en rad områden, och en förmåga att väga in hushållets egna behov, för att man som privatperson ska kunna orientera sig bland de bilmodeller som finns på marknaden. Därmed är det en komplex uppgift att framställa beräkningsmodeller som överbygger den här problematiken åt olika individer med unika behov. Det som behövde utredas för att kunna producera en tjänst som tar hänsyn till användarens behov, vanor och intressen var många. Problematiken överlag kan delas upp i aspekter kopplade till koldioxidutsläpp, ekonomi och gränssnitt.

1.2.1 Koldioxidutsläpp

En första aspekt vid ett bilköp är bilens koldioxidutsläpp, under både tillverkning och drift. Det här leder till en rad frågeställningar som måste besvaras för att kunna göra en kartläggning över hur stora utsläpp ett bilköp medför. Ett fordons totala koldioxidutsläpp kan delas upp i tre stora kategorier; tillverkning, användning samt återvinning. Vilken materialsammansättning i varje bil bidrar till hur stora utsläppen blir under tillverkningsprocessen. Det är även viktigt att ta reda på hur materialet till bilen är producerat för att kunna göra en godtagbar uppskattning om dess utsläpp. Utöver det finns det stora

batterier i elbilar, vilket inte finns i bränslebilar eller hybridbilar. Huruvida de ökar fordonets utsläpp under tillverkningen är en viktig frågeställning.

Under användningsfasen förekommer det utsläpp från elbilar, laddhybrider och bränslebilar. Elbilar laddas med elektricitet och vilka utsläpp som produktionen av elektricitet medför måste utredas. En liknande studie måste göras för bränslebilar samt laddhybrider. Var råvarorna i form av bränslet kommer ifrån, samt i vilket land konsumenten använder bilen är två viktiga faktorer som påverkar mängden koldioxidutsläpp. Det sista stadiet för ett fordon är återvinningen. Under den här fasen är det betydelsefullt att kartlägga vilka delar av bilen som kan och ska återvinnas samt mängden koldioxidutsläpp som processen medför.

Vilken bil om passar en privatperson bäst beror på användarens körvanor, vid korta körsträckor blir storleken av utsläppen som uppstår under tillverkning dominant och vid längre körsträckor är det istället driftutsläppen som står för den större andelen. Därför är det svårt för en privatperson att avgöra klimatpåverkan för en elbilsinvestering.

1.2.2 Ekonomi

För en konsument som står inför en bilinvestering är det viktigt att känna till vilka kostnader köpet medför. Detta för att kunna välja vilken bil som passar vederbörandes budget bäst. Här är det viktigt att beakta att inte enbart inköpspriset spelar in. Det finns många olika bilrelaterade utgifter, som i de flesta fall varierar på individnivå. Att kartlägga vilka kostnaderna är och vilken omfattning de har är sällan enkelt. För elbilar, som ännu inte fått så stor spridning och nått en kritisk massa, är bristen på kunskap än större.

En annan del i den ekonomiska problematiken är när i tiden en kostnad uppkommer. Inträffar den initialt, i samband med inköpet, och blir på så sätt en kapitalfråga, eller är den relaterad till ägandet och driften utav fordonet? Den sistnämnda typen belastar alltså snarare den månadsbudgeten som användaren har. Vidare kan kostnaderna skilja mellan olika biltyper men även segment.

Ytterligare ett problem med modelleringen av en bilinvestering är den förväntade värdeminskningen som sker. Hur den skall modelleras och vilka parametrar den beror på lyder det delade meningar om. Eventuellt kan den påverka finansieringskostnaden genom relaterade amorteringskrav från långivande bank. Värdeminskningen kan även påverka vilken klimatpåverkan som ska hänföras till användaren och vad som skall föras över till nästa ägare.

1.2.3 Gränssnitt

En tredje del av problematiseringen handlar om hur informationsgapet mellan de framtagna beräkningsmodellerna och privatpersonen skall överbyggas. Gapet består dels av bristen på information om individen och dels av hur modellernas resultat kommuniceras.

Delar av den individuella informationen kan fastställas med hjälp av antaganden som baseras på litteraturstudier och dattainsamling, medan vissa faktorer inte går att anta. Personens körvanor, önskad bilstorlek och önskad prisklass är tidigt identifierade exempel på frågor som kan behöva svar på individnivå. Samtidigt finns en risk att för många eller för komplexa frågor upplevs som överväldigande av användaren. Således behövs det en balans i frågornas omfattning.

Gränssnittet skall även i ett visuellt tilltalande format presentera beräkningsmodellernas resultat, vilket är komplext ur ett designperspektiv. Detta på grund av privatpersoners förutfattade meningar kring kostnader och skepticismen kring att lita på siffror på en webbsida.

Vem som utvecklar gränssnittet och hur mycket tid som finns till förfogande är ej tydligt specificerat, vilket gör att lösningen till ovan beskrivna problem är svår att estimeras. Valet av arbetsmetod kan vara en avgörande faktor för resultatets kvalitet.

1.3 Avgränsningar

Projektet innefattar bränslebilar, elbilar och laddhybridbilar, med andra ord inga andra sorters hybridbilar som inte kan laddas från elnätet. Det här för att kunna begränsa projektets bredd och göra resultatet mer kvalitativt. Alla bilar antas vara nyinköpta i Sverige; åt andrahandsmarknaden ägnas inte någon större uppmärksamhet, mer än för att ta reda på andrahandsvärdet. Leasade bilar är heller inte inkluderade i studien. Ett par referensfordon som är bränsle drivna undersöks också; endast de populäraste av varje biltyper. Utöver det är den avsedda målgruppen för studien privatpersoner, och inte företag eller organisationer. De ekonomiska och praktiska faktorerna ser annorlunda ut för företag som investerar i bilar än för privatpersoner. Aspekten hur elnätet belastas av att fler skaffar elbilar tas inte med i studien, även om det är en viktig aspekt för hur Sveriges framtida elnät skall utformas. Inom den närmaste framtiden kommer elnätetsaspekten inte påverka ett

investeringsbeslut på individnivå. Eftersom att utvecklingen inom elbilar går väldigt fort och många förbättringar förväntas komma de närmaste åren har även en maximal ägandehorisont på tio år valts.

1.3.1 Utsläppsmässiga avgränsningar

Genom hela studien har utsläppen som en bil genererar beräknats i kg koldioxid, alternativt kg koldioxidekvivalenter. I det senare fallet är det andra utsläpp än koldioxid, och i sådana fall beräknats om i kg koldioxidekvivalenter. Utöver det har en hel del avgränsningar gjorts för att kunna presentera en studie med kvalitativa modeller som på ett relevant sätt återspeglar verkligheten. Både det faktum att batteriet kan laddas upp under färd för elbil och hybridbil, samt verkningsgraden i motorerna bortses från i den här studien.

Biltillverkning

För att kunna beräkna hur mycket energi, och utsläpp, som genereras vid tillverkning av olika material i en bil behövs information om bilens materialsammansättning. Endast de material som en bil till största delen består av hanteras vid utsläppsberäkningarna. Då det inte är möjligt att inom projektets omfattning att hitta exakt information om varje bil så kommer en uppskattning göras. Den här uppskattningen innebär att en del källor kommer understödja andelen material i en bil, och om den andelen eventuellt varierar i olika modeller kommer det bortses ifrån. Eventuella transporter under tillverkningsprocessen har inte heller tagits hänsyn till. Då komponenter till en bil ofta är tillverkade i olika delar av världen, och ihopsatta i en annan, är det inte lätt att ta reda på den exakta transportsträckan varje komponent har gjort.

Batteritillverkning

Att härleda en tämligen komplett bedömning av vilka koldioxidutsläpp som inträffar vid batteritillverkningen är en komplex process. Batteripaketen för de olika eldrivna bilarna skiljer på en rad olika sätt. En av de största skillnaderna är typen av litiumjon som används samt mängden litiummaterial som lagras och frigörs. Dock är den här informationen svårtillgänglig, och därför tillämpas en förenklad modell av både batteriets viktfordelning av litiumjonmaterial samt dess utsläpp.

Användningsfasen

Efter tillverkningen, när bilen är i drift, har utsläppen beräknats baserat på antagandet att konsumenten kör i Sverige. Av den anledningen har den svenska elproduktionen, med inräknad import av el, utretts och använts vid beräkningar av utsläpp. Faktorer som bidrar till hur mycket bensin, diesel eller elektricitet som en bil förbrukar är väglag, körstil samt väderlek. Exempelvis förbrukar en bil betydligt mer om föraren accelerera mycket och ofta på en grusväg, än om föraren håller jämn hastighet på en motorväg. I den här studien har dock alla de ovan nämnda faktorerna bortsetts ifrån som en avgränsning för att kunna få en första överblick över hur koldioxidutsläppen ser ut i stora drag.

1.3.2 Ekonomiska avgränsningar

Även de ekonomiska aspekterna har krävt vissa avgränsningar för att kunna presentera rimliga siffror till användaren. De ekonomiposter som är inkluderade är inköpspris inklusive supermiljöbilspremie, laddstation, fordonsskatt, service, drivmedelskostnader, restvärde, försäkring, besiktning, tvätt, däck och finansiering i form av lån. Övriga kostnader som kan uppkomma i samband med bilägande, exempelvis trängselskatt och parkering, inkluderas inte i den här modellen. Regler för skatter och subventioner har antagits gälla under hela ägandeperioden, några framtida förändringar i dessa har inte tagits hänsyn till. Någon alternativkostnad för resor där elbilens batteriräckvidd inte är tillräcklig tas inte hänsyn till. Mer specifika avgränsningar görs och förklaras under genomförandet.

1.4 Disposition

Studien är naturligt delad i två huvuddelar, utsläpp av koldioxid och ekonomiska aspekter av ett bilköp, samt en sekundär del som behandlar utvecklingen av webbsidan Elbilsguiden. Först presenteras ett teoriavsnitt där en grund för resten av studien läggs. I den ingår litteraturstudie samt allmän kunskap som anses vara värdefullt för läsaren att vara införstådd med. Därefter beskrivs den generella metoden samt de separata metoderna för utsläpp-, ekonomi- och gränssnittsdelen.

Därefter påbörjas framtagandet av modellerna för vilka koldioxidutsläpp som ett fordon innebär i avsnitt 5. Här tas modeller fram för tillverkning av bil samt batteri, modeller för användningsfasen och modeller för återvinning. I nästkommande avsnitt kartläggs de kostnader som ett fordonsköp innebär. Slutligen presenteras utvecklingen av webbsidan *elbilsguiden.com*. I avsnitt 8 presenteras de färdiga modellerna samt exempel på hur de förhåller sig för bilar på marknaden. Även webbsidan presenteras genom att exempel på olika fall i gränssnittet visas.

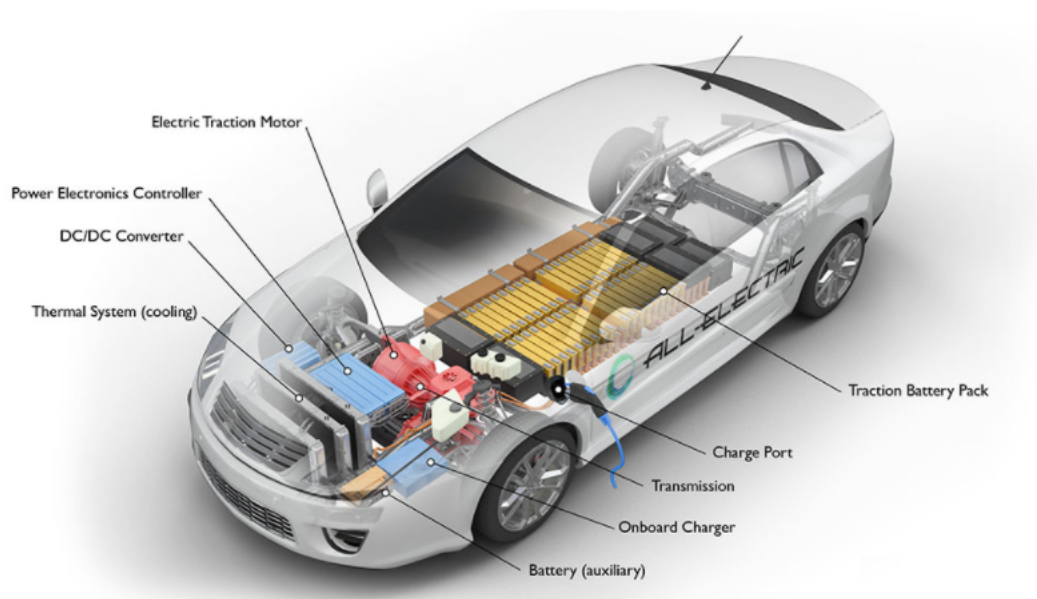
Vidare förs en diskussion om studien i avsnitt 9, där bland annat förenklingar och alternativa metoder diskuteras. I diskussionen inkluderas även känslighetsanalyser med olika fallstudier där modellerna testas i olika situationer och för olika tänkbara konsumenter. En diskussion hur långt en konsument bör köra för att en elbilsinvestering ska vara konkurrenskraftig jämfört med motsvarande bränslebilar förs. Det här för elbilar har små koldioxidutsläpp i driften, men stora utsläpp i tillverkningen. Sist presenteras utsläppsmässiga, ekonomiska och gränssnittsrelaterade slutsatser från studien.

2 Teori

I det här avsnittet presenteras allmän teori som anses vara värdefull för läsaren att vara insatt i innan resten av studien läses. Metoder som presenteras här används genomgående i studien. Det här avsnittet kan användas som ett sätt att bygga en grund för resten av studien och ge läsaren en bättre förståelse för beslut och avgränsningar som sker i senare avsnitt.

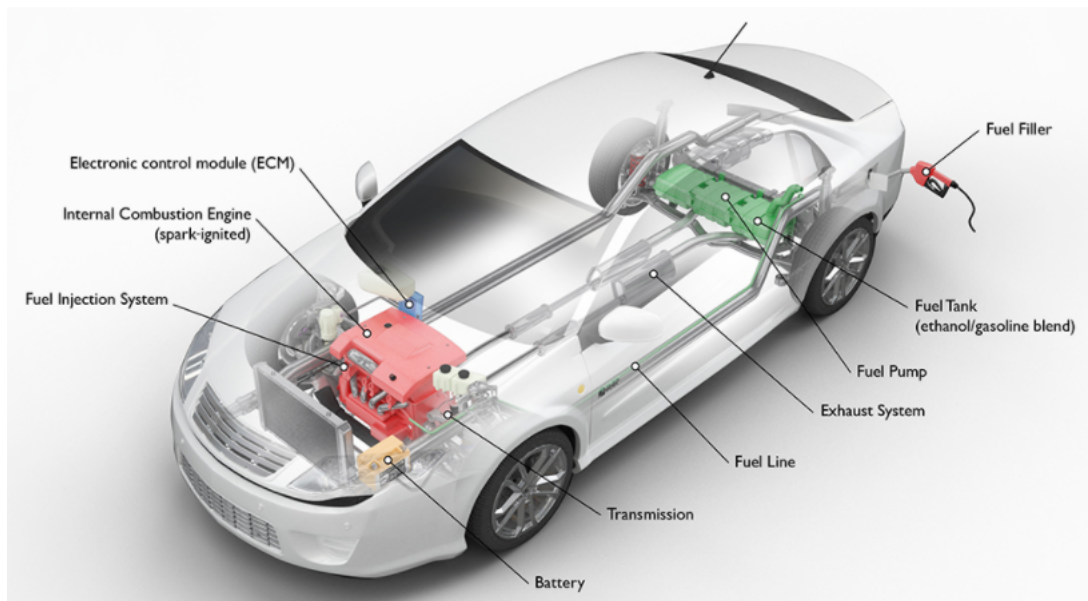
2.1 Hur elbilar, hybrider och bränslebilar skiljer sig åt

En elbil består översiktligt av ett stort batteri och en elmotor. För att kunna driva bilen med elmotorn som utgör motorn krävs växelström, och därför omvandlas batteriets likström till växelström med en kraftelektronisk omriktare [10]. Den vanligaste typen av elmaskiner har magneter gjorda av sällsynta jordartsmetaller. Bristen på metaller gör att elmotorn ofta är dyr att tillverka. Det här bidrar till det dyrare inköpspriset som elbilar har jämfört med likvärdiga bränslebilar. Utöver det finns även en DC/DC-omvandlare som omvandlar den höga likspänningen till 12 V likspänning. Det här innebär att den klassiska 12 V generatoren i en konventionell bränslebil inte behövs.



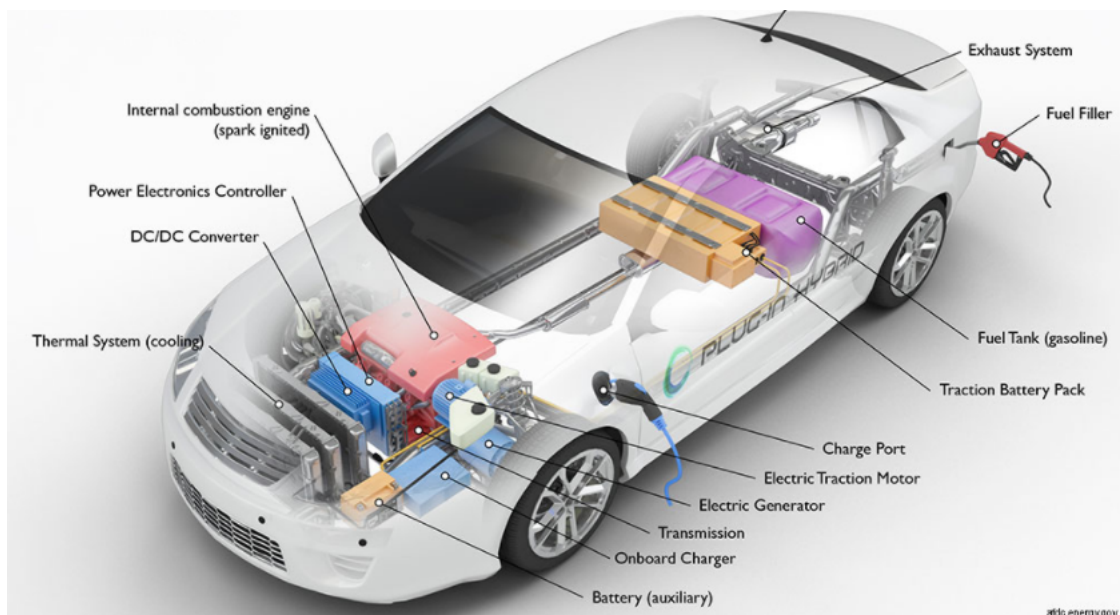
Figur 1: Huvudsakliga delar i en Elbil [11]

En konventionell bränslebil innehåller översiktligt en motor, ett batteri samt en generator som håller batteriet laddat, det här kan ses i figur 2. Det går att se i de båda figurerna hur mycket större batteriet är i en elbil än i en bränslebil. Det stora batteriet är nödvändigt för att kunna göra räckvidden så stor som möjligt och därmed mer attraktiv för konsumenten. Batterierna i elbilen har också en annan kemisk sammansättning än batteriet i bränslebilen. Elbilens batteri innehåller litium (batteriuppbyggnad kartläggs i mer detalj i kapitel 5.1.1). Litium är ett relativt sällsynt ämne som det finns allt större bristande resurser av. Allt det här bidrar till att elbilen i allmänhet har större resursåtgång under tillverkningen än vad bränslebilen har [12].



Figur 2: Huvudsakliga delar i en bränslebil [11]

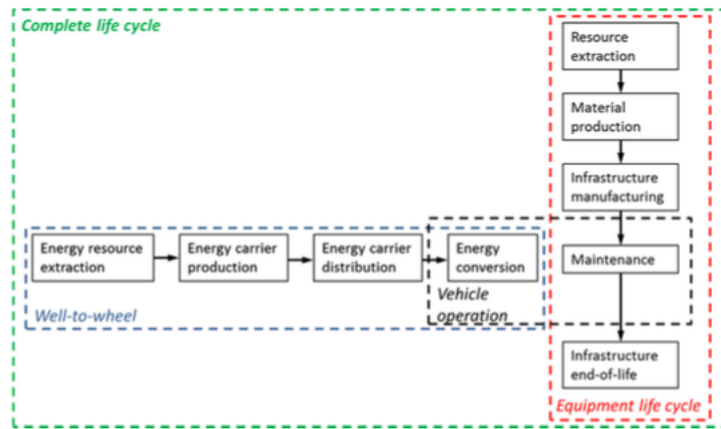
En laddhybrid använder sig både av en elektrisk motor och en bränslemotor, se figur 3. Bilen drivs på el tills batterikapaciteten tar slut och går då automatiskt över till bränslemotorn [12].



Figur 3: Huvudsakliga delar i en hybridbil [11]

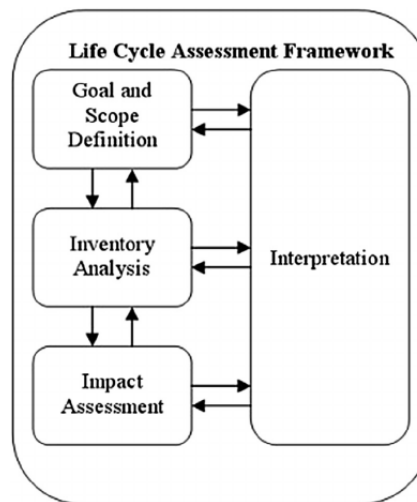
2.2 LCA: Life Cycle Analysis

Livscykelanalys är ett verktyg som används vid evaluering av en produkts totala miljöpåverkan. Bedömningen baseras på att man tar hänsyn till alla steg i produktens livscykel. Dessa steg är råvaruutvinning, framställning av material, produktion, distribution, användningsfas samt återvinning. Då elbilar blir allt mer populära så har det de senaste åren genomfört en rad studier på elbilar där LCA använts (Se avsnitt 2.3.1). Speciellt viktigt är det att skilja mellan olika detaljnivåer när en LCA utförs, även om en redan gjord LCA skall användas. I figur 4 syns tre olika bredder på hur många detaljer som tas med när en LCA görs på en bil [2]. En vanlig nivå är WTW ("well to wheel"). Den här typen av livscykelanalys tar hänsyn till hela produktions- och distributionskedjan, och är ett mått på vilka miljöeffekter som framtagandet av produkten innebär.



Figur 4: Tre olika detaljnivåer som en LCA kan innefatta [2]

I enlighet med ISO-standarder är LCA indelad i fyra steg som illustreras i figur 5 [13]. Sista steget i en livscykelanalys är att utvärdera de erhållna resultaten och dra slutsatser. Fokus bör ligga på att identifiera viktiga frågor, utvärdera resultatets fullständighet, alltså konsekvenser samt göra en känslighetsanalys.



Figur 5: Ramverk för livscykelanalys [14]

2.3 Litteraturstudie

För att kunna genomföra och ta fram de olika kalkylerna genomfördes en litteraturstudie med avsikt att analysera vilken forskning som redan gjorts inom det här området. Avsikten var även att lära sig mer om de olika beräkningsmodeller som finns för att genomföra en studie av elbilar, hybridbilar samt bränslebilar.

2.3.1 Verktuget LCA i studier

I studien ”The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life cycle assessment based on a novel scenario analysis framework” av Bauer et al. har en komplett LCA gjorts på både elbilar och bränslebilar [2]. Bauer et al. har valt en komplett detaljnivå i sin studie, se figur 4. Initialt har en rad faktorer identifierats som viktiga att inkludera i en LCA: viktfordelning av olika komponenter i bilarna, vilken effektivitet motorerna samt batterierna har och hur stor bränsletanken är för bränslebilar. Även livslängden i kilometer för bilar har identifierats som en viktig faktor att inkludera. Den har uppskattats av Bauer et al. till att vara 240 000 km för bränslebilar och elbilar endast 150 000 km på grund av den begränsande livstiden för batteriet. I studien är elbilen tänkt användas i Europa, och därför har Bauer et al. använt en Europeisk elmix. I studien har antagits att elmixen i Europa kommer minska sitt koldioxidutsläpp i samband med att världen blir allt mer miljömedveten, och utsläppen vid drift av en elbil antas minska i framtiden. Den huvudsakliga slutsatsen i studien är att valet av elmix spelade stor roll då utsläpp skiljde sig drastiskt från land till land. En hybridbil var endast bättre än en konventionell bränslebil ifall konsumenten laddade bilen i Europa.

En annan studie som använt sig av en komplett LCA har gjorts av amerikanska Environmental Protection Agency (EPA). Studien heter ”Application of Lifecycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles”. Informationen som samlats för den här studien har hämtats från redan existerande databaser eller sekundära datakällor, likaså har LCA-dataformer utvecklats för studiens ändamål [15]. EPA har hämtat information om batteriets olika komponenter längs hela produktionsvägen och deras koldioxidutsläpp. Informationen har hämtats från en rad olika batteritillverkare mellan åren 2010 och 2011. Batteriproduktionen har antagits ske i Kanada vilket medför att transportutsläppen är beräknade med avseende på att råmaterialen transporteras från utvinningsland till Kanada. Slutligen har en uppskattning på energiförbrukningen under batteriets livcykel beräknats.

2.3.2 Total ägandekostnad

I studien av Ellram definieras *total cost of ownership* som ett inköpsverktyg och en filosofi [16]. Syftet är att få en förståelse för vilka kostnader som ett köp medför. Med hjälp av TCO-beräkningar kan en konsument få en överblick av de indirekta och direkta kostnaderna som uppkommer under varans livstid. Då kostnader ofta är kopplade till användandet och inte bara inköp kan dessa kalyler vara av yttersta vikt. Så är fallet vid bilinköp och därav är TCO ett relevant verktyg för att ge en verklig siffra på ägandekostnaden. Då laddhybrider och elbilar är dyrare än bränslebilar vid inköp men billigare i drift ger TCO en möjlighet att jämföra dem på mer rättvisa grunder.

Hagman et al. gör en ansats till att försöka svara på frågan: varför elbilen inte har fått något direkt genomslag [17]. Det gör de genom att presentera en jämförande TCO mellan bensin-, diesel-, hybrid- och elbil. Studien är gjord ur ett svenskt perspektiv och inkluderar värdeminskning, drivmedel, finansiering, försäkring, service och skatteförmåner. Några av kostnadspunkterna har antagits utan någon egentlig källa, exempelvis en värdeminskning på 50 % trots att författarnas egna analys föreslog 19 %. Finansieringskostnaderna för köpet har beräknats som ett annuitetslån. Studien är gjord på ett specifikt scenario: en ägandehorisont på tre år och årlig körning på 1 500 mil. Resultatet påvisar att elbilar är konkurrenskraftiga i jämförelse med bränsle drivna bilar ur ett totalt ägandekostnads-perspektiv. Därav kommer de till slutsatsen att den här kunskap behöver bli allmän kännedom om elbilen skall kunna få större spridning.

I samband med den 26:e Electric Vehicle Symposium, världens största elbilskonferens, framställdes en totalkostnadsanalys med huvudfokus på laddhybrider [18]. Analysen genomfördes på den tyska bilmärknaden och med syftet att jämföra olika biltypers konkurrensförmåga år 2020. Laddhybrider delades upp i tre typer: två klassiska med räckvidden 15 respektive 30 kilometer, samt det slaget där bränslemotorn enbart används för att ladda batteriet. Kostnaderna som identifierades var prognoser för kostnadsläget år 2020, och totalkostnaden beräknades över en fyraårsperiod. En djupare dykning gjordes kring servicekostnader och restvärdet. Servicekostnaderna identifierades på ett utförligt sätt, bland annat i form av besparingarna jämfört med bränslebilar. Restvärdet beräknades genom att justera befintliga analyser för bränslebilar med egna antaganden för skillnader i driftkostnader. Slutsatsen för studien blev att det inte går att identifiera någon definitivt billigare typ av drivlina på medellång sikt, och att biltillverkare förväntas ha samtliga alternativ med i sitt utbud.

De två studierna har en hel del gemensamt. Syftet med båda är att utreda skillnaderna i totalkostnad mellan bilar med olika drivlinor. Slutsatserna i båda studierna är att skillnaden i drivlinornas konkurrenskraftighet är försumbar. Metoderna liknar

Tabell 1: Fokuspunkter för de analyserade studierna

Hagman et al	Propfe et al
Värdeminskning, drivmedel, finansiering, försäkring, service, skatt	Service, restvärde
Svenskt perspektiv	Tyskt perspektiv
Statisk fallstudie	Framtidsanalys

varandra i och med att förutsättningarna är statiska - jämförelsen sker med specifika körvanor och bilmodeller. Eftersom syftet är att utreda skillnaderna bortser studierna från vissa gemensamma kostnader så som för däck och tvätt.

De mest framträdande skillnader i studierna finns i tids- och marknadsaspekterna. Hagman et al jämför prisläget på den svenska marknaden ur ett nulägesperspektiv, medan Propfe et al utgår från den tyska bilmarknaden och prognoserna för prisläget år 2020. Även valet av bilmodeller påverkas av det här. Hagman et al använder ett fåtal befintliga bilmodeller och utelämnar laddhybrider, Propfe et al använder fiktiva bilmodeller. Finansieringsperspektivet utelämnas i Propfe et al, där annuitetslån används i Hagman et al.

Något som Hagman et al påpekar är bristen på allmän kunskap kring totalkostnadsperspektivet när det kommer till bilinvesteringar är en begränsande faktor för miljöbilars tillväxt. Samtidigt är båda studierna omöjliga att applicera på individuell nivå och utelämnar vissa ovan nämnda generella utgifter som påverkar investeringens påverkan på privatekonomi. Det här är något som kommer att tas med i genomförandet av projektet Elbilsguiden som något att förbättra.

3 Metod

Då huvuddelen av studien är tvådelad, både utsläpp och finansiella aspekter behandlas, så delades arbetet i ett tidigt stadie upp. Den sekundära delen av rapporten, Gränssnittet, gjordes parallellt med de två huvuddelarna. Därmed finns tre avsnitt med genomförande och de behandlas till viss del med separata metoder. I de båda huvuddelarna delarna förekommer datainsamling från bland annat forskningsartiklar samt myndighetshemsidor. Arbetetssättet genom hela studien överlag är klassisk abduktion som är en hybrid av induktiv och deduktiv metod. Induktiv metod innebär att gå från observation i verkligheten till generalisering [19]. Deduktiv metod innebär det motsatta: att utgå från en teori, formulera hypoteser och sedan testa dem mot verkliga observationer. Vissa delar utgick helt från en antagen teori, sedan gjordes observationer som understödde den. Andra delar utgick ifrån tidigare gjorda observationer och studier, se Litteraturstudie i 2.3, och utifrån dem gjordes en generalisering av verkligheten inom en referensram. Framförallt i koldioxidutsläppsdelen av studien användes en rent induktiv metod där generaliseringar gjordes utifrån observationer av verkligheten. Genom att studera en elbils alla delar samt vilka material som det fanns mest av gjordes därefter en generalisering av en elbil som inte tog med alla delar. Alla förenklingar gjordes med grund i att det inte vore möjligt inom en rimlig tidsram att genomföra mer omfattande studier.

3.1 Metod: Koldioxidutsläpp

Den genomgående metodiken som har valts i den här studien är att ta fram nya modeller som beskriver vilka koldioxidutsläpp som ett fordonsköp innebär. Det här innefattar nya modeller för utsläpp i produktion istället för att använda redan färdiga LCAer för bilar. Anledningen till det här var dels bristen på LCAer som kartlade fler än en bil, då den här studien ämnade att kartlägga flera olika sorts bilmodeller allmänt så behövdes en mer generell modell. Men det var även dels på grund av de LCAer som hittades hade systemavgränsningar som skiljde sig mellan varandra vilket gjorde det svårt att kunna använda flera av dem tillsammans.

Initialt identifierades de största utsläpp som ett köp av en ny bil innebär. Det här innefattade tillverkning av bilen, inklusive tillverkning av batteriet, användningsfasen av bilen, och till sist återvinning. För alla delar identifierades vilka komponenter som bidrog till koldioxidutsläpp samt hur de hängde ihop. Viss data var specifik för varje bil och kunde tas direkt från de deklarerade specifikationerna av bilen, exempelvis tjänstevikt, batterikapacitet samt energieffektivitet. Andra värden som användes inhämtades från myndigheter, och eftersom det är allmänna värden som endast gäller fram till 2017 var en del antaganden och viktningar nödvändiga.

För tillverkningen av batteriet till elbilen var kapaciteten samtink tillverkningslandet två huvudfaktorer. För tillverkningen av resten av bilen behövdes viktfordelningen av olika material samt vilken energi som krävs för att utvinna de här materialen. Slutligen behövdes en faktor som kopplade samman energi och koldioxidutsläpp för respektive material. Slutligen jämfördes utsläppen från elbilar med jämlika bränslebilar samt laddhybridebilar. Under driften behövde elmix samt utsläpp vid bränsleutvinning identifieras. Hur mycket av materialet i en bil som redan innan var återvunnet var även nödvändigt att bestämma.

3.2 Metod: Ekonomi

Arbetet med att ta fram en total kostnad för en bilinvestering inleddes med att identifiera relevanta kostnadsposter. Därefter påbörjades en inkrementell uppskattning av dessa. För varje kostnad genomfördes en datainsamling. Denna bestod av identifiering av vilken tidigare forskning som gjorts kring den, fastställande av huruvida den går att koppla till specifika biltyper, storlekar eller om den är generell för samtliga bilmodeller. Datainsamlingen skedde med hjälp av rapporter, myndighetssidor och personlig kontakt med ämneskunniga. Det inkrementella arbetssättet valdes för att kunna fastställa kostnadspunkter istället för att forska kring för många av dem samtidigt.

För att presentera total kostnaden i form av en genomsnittlig månadskostnad över hela ägandetiden gjordes därefter en djupdykning i bilfinansiering och restvärdesutveckling, två av de mer komplexa faktorerna. Genomgående låg fokus på att ta fram och presentera kostnader som är relevanta för en privatperson, och en beräkningsmodell som genererar ett rimligt resultat oavsett användare.

3.3 Metod: Gränssnitt

För att framställa designen för ett användargränssnitt till beräkningsmodellerna användes en iterativ arbetsprocess. Med hjälp av interna workshops togs en grundläggande vision fram, som därefter diskuterades med handledare, webbutvecklare och experter för att införa förbättringar. Processen valdes då ett liknande gränssnitt inte redan existerade och feedback från

flera källor kunde ge insyn i vad som efterfrågades och skulle passa in. Metodiken för själva implementationen av gränssnittet för Elbilsguiden framställdes först efter att det blivit klart att den skulle omfattas av projektet. Vid den tidpunkten var designen för gränssnittet redan framställd, men med utkontraktering som syfte.

Implementationen av visionen för gränssnittet för Elbilsguiden tog formen av en webbsida. Därför applicerades principer och metoder inom mjukvaruutveckling. Det agila perspektivet valdes för processen - ett modernt arbetssätt som går ut på att inkrementellt och iterativt leverera fungerande mjukvara och utvärdera sina arbetsmetoder. Parallellt med utvecklingsprocessen skedde inkrementell självinläring av programspråk och teknik för att införskaffa kompetensen som krävdes för att bygga applikationen. Fokus i implementationsprocessen var att implementera funktionalitet steg för steg. På så sätt kunde en webbsida, om än med begränsad funktionalitet, presenteras även tidigt i förfarandet. Då oklarhet rådde kring hur mycket tid som kunde avvaras för momentet, säkerställde den agila processen att all investerad tid tillförde värde till webbsidan.

4 Gemensam data

Rapportens båda huvuddelar, utsläpp och ekonomi, har använt sig av bilarnas bränsle- och elförbrukning i sina kalkyler. Denna information har tagits fram för gemensamt bruk och använts genom hela arbetet. Detta medför även att validiteten ökar då en bil alltid har samma utsläpp oavsett vilken kalkyl den ligger i, med genomgående siffror som alla kommer från samma samma typ av källa.

Bränsle- och elförbrukning

Bränsleförbrukningen för bilarna som analyseras i denna rapport har primärt inhämtats från amerikanska Environmental Protection Agencys (EPA) bildatabas [15]. Det är en källa som valts då den enbart uppskattats avvika med 10 % under verklig förbrukning [20]. Inhämtade förbrukningssiffror härifrån har därmed höjts med 10 %. I de fall där data om bränsleförbrukningen saknas hos EPA har den kompletterats med information från respektive biltillverkares hemsida, där den europeiska testdatan presenteras. I en studie från 2014 beräknades att europeiska testprocedurers data var 31 % lägre än bilars verkliga bränsleförbrukning [21]. Därför har förbrukningssiffror från europeisk testdata höjts med 31 %. För laddhybriderna, där europeisk testdata använts, har förbrukningen även fördubblats då den bygger på två testcykler där den ena sker på el och den andra på bränsle drift [22].

För att räkna fram elförbrukning eller energieffektivitet i modellen har den angivna batterikapaciteten dividerats med deklarerad räckvidd. På så sätt erhålls en förbrukning i enheten kilowatt timme per kilometer. Elförbrukningen har inte modifierats då studier på avvikelser saknas.

5 Genomförande: Modellering av koldioxidutsläpp

Under fordonets livscykel sker utsläpp i form av koldioxid från olika källor. I det här avsnittet har ett försök gjorts för att kartlägga och modellera dessa. Modellen består av tre huvuddelar: utsläpp som förekommer vid tillverkningen av en bil, användarfasen av bilen samt slutligen utsläpp vid återvinningsprocessen.

5.1 Kalkyl för tillverkning

Utsläppskalkylen för en elbil vid dess tillverkning innehåller summan av utsläpp från batteritillverkningen samt produktion av material för övriga bilen. Då en bil innehåller många komponenter är det mycket svårt att kartlägga en bils samtliga komponenter och deras utsläpp. Svårt i den utsträckning att det inte går att erhålla goda resultat inom ramarna för projektet. De förenklingar som görs understöds med relevant data och källor. Alla värden kommer skilja sig mellan olika bilar, både på grund av viktskillnader mellan olika fordon och därmed olika mängd av material, men även batterierna som skiljer sig åt då batterikapacitet samt deras räckvidd kan vara olika.

5.1.1 Batteritillverkning

Den största skillnaden i produktionsutsläpp mellan en konventionell bil och en elbil är koldioxidutsläpp som förekommer vid elbilens batteritillverkning. Ämnet som vanligtvis används vid tillverkning av ett bilbatteri är litiumjon. Litiumbatteriet är uppbyggd i tre lager; anod, katod samt en separator som placeras mellan dessa [15]. Anoden består av grafit samt andra ledningsbara ämnen, medan katoden är uppbyggd av lagrade övergångsmetalloxider. Då dessa övergångsmetalloxider kan variera så förekommer det flera olika typer av litiumjonbatterier med varierande batterikemier. Vidare fungerar separatorn som ett överdrag som lindas om anoden och katoden. Det kommer sedan i kontakt med elektrolyt-lösning, bestående av litium-salt och organiska lösningsmedel. Sedan förseglas det här och formar en battericell. För ett bilbatteri så används ett flertal battericeller [15].

Beroende på vilken typ av litiumjonmaterial som finns i batteriet så skiljer sig även dess prestanda samt dess utsläpp vid produktion [15]. Skillnaderna mellan dessa battericeller är exempelvis tiden det tar att ladda upp batteriet, förmågan att arbeta vid högre temperatur, livslängden på batteriet samt kostnad. Således är typen av litiumjonbatteri en viktig faktor. Dock är den här informationen svårtillgänglig därav har förenklingen gjorts att alla beräkningar utgår från ett medelvärde av tre olika batterikemier som representeras i Appendix 1. I studien har resultat från Environmental Protection Agency, EPA, använts [15]. Vid sin modellering av batteritillverkningens koldioxidutsläpp tar EPA hänsyn till de växthusgaser som förekommer under hela produktionsfasen för batteriet, från materialutvinning till sammansättning av material. Alla dessa växthusgaser omvandlas senare till koldioxidequivaler [15]. Det totala koldioxidutsläppet per kWh blir således 112 kg CO₂/kWh, enligt tabell 2.

$$C_B = 112 \cdot B_k, \quad (1)$$

där C är koldioxidutsläpp, nedsänkt B står för tillverkningen av batteriet och k motsvarar batteriets kapacitet.

Tabell 2: Koldioxidutsläpp per kWh för ett batteri vid dess tillverkning [15]

Batterikomponent	Utsläpp (KgCO ₂ /kWh)
Anod	9,92
Katod	38,1
Separator	0,81
Produktion av batteripaket	31,4
Övrigt	31,77
Totalt	112

5.1.2 Fordonstillverkning

En bil innehåller en mängd olika komponenter, och för att kunna få värden som avspeglar verkligheten så bra som möjligt, kommer en utredning om viktfordelningen av olika material som bilen är gjord av göras. Därefter kommer de material som

som har hög andel av bilens tjänstevikt samt har högst koldioxidutsläpp vid dess produktion väljas ut för att ta reda på vilken klimatpåverkan materialproduktion och montering utgör.

Energikonsumtion vid materialproduktion

För att producera ett material krävs det en viss mängd energi [4]. Tillverkningen av aluminium är av de mest energikrävande, vilken sker i stora smältugnar. De här fabrikererna är ofta placerade bredvid stora kolkraftverk för att de tar mycket energi [23]. Genom att använda återvunnet material kan energi sparas, men även då måste en viss mängd nytt material tillsättas för att uppnå en önskad kvalitet [24]. Det här leder till att en viss mängd energi krävs även för återvunnet material. Tabell 3 kartlägger hur mycket energi som utvinning av ett visst material kräver. I studien har det antagits att materialet för fordonen är 40 % återvunna samt 60 % nytt. Anledningen till detta antagande är att tidigare LCA-studier räknar med liknande fördelning mellan återvunnet och nytt material [4][24]. Energikonsumtion vid materialproduktion (E_{mp}) kan då beskrivas på följande sätt:

$$E_{mp} = \delta \cdot M \quad (2)$$

där δ är elförbrukningen per kilogram material, och beror på mängden återvunnet och nytt material och som representeras i tabell 3. medan M är vikten av materialet [4]. Vid materialproduktion så är det endast aluminium och stål som har en noterbar klimatpåverkan [4]. Mängden energi som behövs för produktion av ett kilo av dessa material visas i tabell 3.

Material	100 % nytt	100 % återvunnet	40 % återvunnet och 60 % nytt
Stål	40 000	30 000	36 000
Aluminium	220 000	40 000	148 000

Tabell 3: Energiförbrukning vid utvinning av material [kJ/kg]

Koldioxidutsläppen som ett material medför (C_{mp}) vid dess produktion kan enligt Wang [4] uttryckas:

$$C_{mp} = E_{mp} \cdot \beta_{mp} \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

där β_{mp} är en viktad koldioxidutsläppsfaktor som varierar beroende på valet av material. Koldioxidutsläppsfaktorn för stål och aluminium är 27,91 respektive 45,73 kg CO₂/GJ [4]. Således är stålets koldioxidutsläpp vid dess produktion:

$$C_{mp,s} = E_{mp} \cdot 27,91 \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

medan för aluminium gäller följande:

$$C_{mp,a} = E_{mp} \cdot 45,73 \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Den totala klimatpåverkan vid materialproduktion kan därmed beskrivas på följande sätt:

$$C_{mp,tot} = C_{mp,s} + C_{mp,a} \quad (6)$$

Montering av fordon

Nästa steg efter att materialet producerats är monteringen. Energikonsumtion vid montering av material (E_m) uttrycks på följande sätt:

$$E_m = \alpha_m \cdot M \quad (7)$$

där α_m är en energikonsumtionsfaktor vid montering och M är materialvikten som ska assembleras. α uppgavs vara 19 750 kJ/kg [4].

Koldioxidutsläppen angivna i kg som förekommer vid montering (C_m) av ett material är:

$$C_m = E_m \cdot \beta_m \cdot 10^{-6} \quad (8)$$

där β_m är en koldioxidutsläppsfaktor som tillkommer vid montering. Denna brukar anta ett värde på 38,65 kgCO₂/GJ [4]. Då materialen som beaktas är stål och aluminium blir således den totala koldioxidutsläppen vid montering av dessa följande:

$$C_{m,tot} = (M_s + M_a) \cdot \beta_m \cdot \alpha_m \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

Viktfördelning

Alla bilmodeller av samma typ antogs ha samma andel av ett visst material. Det här var mycket på grund av brist på information från biltillverkarna. Vikten av ett visst material beräknades sedan utefter bilen egna tjänstevikt. Viktfördelningen mellan olika material i bilen, exklusive batteriet, presenteras i tabell 4 [4] [25].

Tabell 4: Viktfördelningen av ett fordons material angivet i kg

Fordonstyp	Aluminium	Stål
Konventionell bil	18,10 %	51,92 %
Elbil	17,55 %	47,81 %
Hybridbil	10,74 %	50,73 %

5.2 Kalkyl för återvinning

Vid slutet av ett batteris livscykel så kan återvinning ske på tre olika sätt [15]. Antingen via en hydrometallurgisk process där varje metall återvinns från dess primära källa såsom malmen. En alternativ process till den här är en pyrometallurgisk återvinningsprocess där höga temperaturer för smältning av material används. Vid smältningen övergår metalloxiden till dess metalliska form och på så sätt sker återvinningen. Dessa två är de mest etablerade återvinningsprocesserna [15]. Vidare så kan återvinningen av batteriet ske via en så kallad direkt process. Här separeras batteriets komponenter via kemiska och fysiska processer. För att sedan kunna återanvändas i nya batterier så sker en reningsprocess.

Beroende på vilken av de nämnda processerna som används vid återvinningen så krävs det olika mängd energi för att återvinna materialet i batteriet [26]. Exempelvis blir energimängden vid återvinning av katoder innehållande kobolt och nickel vid pyrometalliskt 52 MJ/kg LiCoO₂ [26]. De olika processerna tillsammans med olika kemier i batterier medför att intervallet för energianvändningen vid återvinningen är mellan 30 - 52 MJ/kg LiMn₂O₄ eller LiCoO₂ [26].

Enligt EPA är andelen litiumjonmaterial i ett bilbatteri med vikten 10 - 12 kg ungefär 22 - 31 % av den totala vikten. Annat material som upptar en väsentlig andel av batteriets totala vikt är aluminium och koppar, vilka uppges vara 4 - 9 % respektive 1 - 9 % av den totala vikten [15]. I beräkningarna används därmed ett medelvärde av andelen material. Dessa är 26,5 %, 6,5 % samt 5 % för litiumjonmaterial, aluminium respektive koppar. Vidare så är elförbrukningen för att återvinna koppar 45 MJ/kg [4]. För att beräkna vikten av dessa material krävs därmed information om fordonets batterivikt. Dock är den informationen inte tillgänglig för alla bilmodeller vilket medför att ett generellt samband mellan batteriets vikt och kapacitet har används. Sambandet enligt EPA [15] ligger mellan 7,69 - 12,5 kg/kWh. Ett medelvärde av detta samband angivet till 10,1 kg/kWh kommer hädanefter att användas.

För koldioxidutsläppsberäkningen av batteriåtervinningen (C_{Br}) gäller därmed följande:

$$C_{Br} = \eta \cdot E_{ma} \cdot \gamma \cdot a \cdot B_k \quad (10)$$

där η är sambandet mellan batterivikt och kapacitet, och är lika med 10,1 kg/kWh, E_{ma} är energikonsumtionen för materialen, γ är en förenklad och härledd faktor som anger sambandet mellan energi och koldioxidutsläpp vid 40 % återvunnet material [4]. Denna antages vara 0,025 kg CO₂/MJ. a är andel material av batteriet, i detta fall andelen litiumjon, koppar samt aluminium. Vidare är B_k batterikapacitet. Produkten av η , γ , E_{ma} och a är 6,91. Det totala koldioxidutsläppet vid återvinningen av batteriet beror alltså endast på batterikapaciteten, B_k , på följande vis:

$$C_{Br} = 6,91 \cdot B_k \quad (11)$$

Återvinningen för resten av fordonet sker genom att stålet sorteras bort från aluminiumet med hjälp av magneter. Stålet smälts ner för att bilda nytt stål, och aluminiumet smälts och gjuts till aluminiumtackor som sedan kan återanvändas. Stålets klimatpåverkan vid återvinning ($C_{R,s}$) kan beskrivas på följande sätt:

$$C_{R,s} = 0,13 \cdot C_{mp,s} \quad (12)$$

där $C_{mp,s}$ är stålproduktionens utsläpp och 0,13 anger att endast 13 % av produktionsutsläppen följer med till återvinningen [27]. För aluminiumet gäller följande:

$$C_{R,a} = 0,04 \cdot C_{mp,a} \quad (13)$$

där endast 4 % av aluminiumproduktionens utsläpp, $C_{mp,a}$, påverkar återvinningen [27].

Det totala koldioxidutsläppet för återvinningen av en elbil kan således beräknas med formeln:

$$C_{R,e} = C_{R,s} + C_{R,a} + C_{Br} \quad (14)$$

För bränslebilar gäller motsvarande fast utan utsläppen vid återvinningen av batteriet, C_{Br} .

5.3 Delat ansvar för koldioxidutsläpp

En konsument som i andra hand köper en bil anses också ansvarig för dess existens på marknaden. Därför antages det i den här studien att ett visst ansvar i form av mängd koldioxid från tillverkningsprocessen samt den förväntade återvinningen följer med till nästa konsument. Hur stor andel det är anses följa varje individuell bils värdeminskning. Koldioxidutsläpp för den nya ägaren (C_r) vid en specifik tidpunkt t kan beskrivas som:

$$C_r = (C_{mp,tot} + C_{m,tot} + C_B + C_{R,tot}) * \xi \quad (15)$$

där $C_{mp,tot}$ är det totala utsläppet för all materialproduktion, $C_{m,tot}$ totala utsläpp monteringen, C_B utsläpp från batteriproduktion, där $C_{R,tot}$ totala utsläpp för återvinningen och ξ är värdeminskningen i procent. För mer detaljerad information om värdeminskningen se i avsnitt 6.2.1.

5.4 Utsläpp vid drift

Utsläppen av koldioxid vid drift är direkt kopplat till hur ofta en bil måste tankas eller laddas, och därför även ett mått¹ på vilken driftskostnad bilen har. Hur ofta bilen används samt körstil är faktorer som konsumenten direkt kan påverka för att minska utsläpp och kostnader.

5.4.1 Elbil

För att bestämma vilket utsläpp produktionen av elektricitet medför används produktionslandets elmix. Konsumenten antas använda bilen främst i Sverige. Den svenska elmixen består till största delen av vattenkraft och kärnkraft, och släpper ut ungefär 20 g koldioxid per kWh [1]. Dock finns det perioder under året då Sverige importerar elektricitet då den egna tillverknings inte räcker till. Det här sker exempelvis under vintern eller ett år när det regnat lite. För att få en mer realistisk bild över den faktiska påverkan som produktionen av elektricitet innebär så är ett alternativ att utgå från den nordiska elproduktionen eftersom att Sverige importerar därifrån. I den nordiska elmixen ger en kWh i genomsnitt runt 100 g utsläppt koldioxid [1]. För driftberäkningar utanför Norden kan den europeiska elmixen, som ligger på runt 300 g [28], användas istället. Ofta används den nordiska elmixen som standard vid beräkning av utsläpp[1]. Då den är betydligt högre än den svenska, och konsumenterna i fråga antas köra i Sverige i den här studien så valdes en svensk elmix. För att få en elmix som är så nära verkligheten som möjlig så har Sveriges import av elektricitet under ett år kartlagts. Det här med hjälp av statistik på import av el från 2001 till 2014. Sedan beräknades snittet av andelen importerad el fram till 0,1237, alltså

¹Notera att det är ett ungefärligt mått. Faktorer så som service, försäkring samt skatt tillkommer också som utgifter under användningsfasen. De här utreds i detalj i avsnitt 6.

importeras ungefär 12 % av elen i Sverige under de här åren. Variationerna beror på elförsörjningsförhållandena i Sverige [29]. Följande kalkyl kan således uttrycka viktad elmix, e_v :

$$e_v = (1 - 0,1237) \cdot e_{sv} + 0,1237 \cdot e_n, \quad (16)$$

där elmixen, e , skiljer sig mellan olika länder; sv står för Sverige och n för norden. Den slutgiltiga elmixen, som används vid beräkningar av drift för elbilar, av den här kalkylen är $e_v = 29,89$ g CO₂/kWh. Beräkningen av koldioxidutsläpp under drift från elbilen ($C_{d,e}$) blir således:

$$C_{d,e} = e_v \cdot l \cdot v \quad (17)$$

där l är körd sträcka i kilometer och v är verkningsgrad. För mer information om verkningsgraden se avsnitt 4.

5.4.2 Bränslebil

Härledningen av koldioxidutsläppen som förekommer för ett bränsle drivet fordon baseras på en WTW-analys av bränslet. Den här typen av livscykelanalys tar hänsyn till hela produktions- och distributionskedjan, och är ett mått på vilka koldioxidutsläpp som framtagandet av drivmedlet innebär. Den här informationen är tillgänglig och är hämtad från Energimyndighetens hemsida [1]. Utöver det används bränsleförbrukningen från den amerikanska bildatabasen som Environmental Protection Agencys tillhandahåller, se avsnitt 4. Totalt koldioxidutsläpp från en bränslebil under drift ($C_{d,b}$) kan därmed uttryckas som:

$$C_{d,b} = b \cdot l \cdot W \quad (18)$$

där b är bränsleförbrukningen, l är sträckan och W är WTW-utsläppet för bränslet som är 2,94 kg CO₂/liter för både bensen och diesel [1].

5.4.3 Hybridbil

En hybridbil använder i första hand batteriet, om inget annat väljes manuellt [11]. När batteriets räckvidd är nådd går den automatiskt över till att använda bränslemotorn. Det här leder till att både el och bensen används under drift i normala fall, då en konsument oftast använder bilen längre än en batteriladdning räcker. Vid beräkningar av utsläpp från driften av hybridbilar summeras både ekvation 17 och 18.

6 Genomförande: Ekonomi

En totalkostnadsanalys har gjorts för att kunna visa användarna av Elbilsguiden hur mycket det kan kosta att äga en bil i form av en månadskostnad. Kostnaderna är framtagna så att det finns underlag för alla drivmedel som omfattas av projektet. Alltså kan kostnaden för elbilar, hybrider, bensinbilar och dieslbilar tas fram med den informationen som redovisas. I det här avsnittet redovisas hur de olika utgifterna har tagits fram samt hur restvärdesanalysen och finansieringskalkylen är uppbyggd.

6.1 Utgifter

Bilägande för med sig olika typer av utgifter. Dessa har kartlagts och presenteras nedan uppdelade enligt den aspekt av ägandet som de tillhör. Kartläggningen genomfördes med hjälp av olika typer av datainsamling och för varje utgift är denna presenterad.

6.1.1 Investeringsrelaterade utgifter

När en privatperson tar ett beslut om att investera i en ny bil tillkommer investeringsrelaterade utgifter. Dessa är bilens pris som i sin tur reduceras om eventuella subventioner finns att tillgå, samt en laddstation ifall bilen ifråga är en elbil eller laddhybrid och individen har ett behov av att installera en sådan.

Nybilspriser

Priset på en bil varierar beroende på vart bilen köps och vilka tillval som kunden önskar. Exempel på val är exteriörer som färg och fälgar, interiör eller motor. Dessa anpassningar är dock inte inkluderade i denna modell. Istället eftersträvades en lista på nybilpriser där alla priser kom med samma antaganden. Skatteverket tillhandahåller föreskrifter om nybilpriser för bilar på sin hemsida [30]. Dokumenten publiceras på årsbasis och innehåller priser på nyproducerade bilmodeller som säljs i Sverige. Föreskriften om nybilpriser för bilar med tillverkningsår 2017 har använts som bilpris i projektets modeller eftersom enbart nya bilar kommer inkluderas. Eftersom de ovan nämnda föreskrifterna ligger till grund för värdering av bilförmån antas de vara en bra riktlinje för kalkylerna. Jämförelser mellan några av deras priser och producenternas priser på deras egna hemsidor har även gjorts för att validera priserna.

Supermiljöbilspremie

I Sverige finns en subvention tillgänglig vid en elbilinvestering, *supermiljöbilspremien*. Premien uppgår till 40 000 kronor för elbilar och 20 000 kronor för laddhybrider enligt Riksdagens förordning 2011:1590 [31]. Dessa summor är fasta för privatpersoner men varierar för företag, vilket inte behandlas i den här rapporten då guiden endast riktar sig till privatpersoner. Premien gäller för supermiljöbilar och den högre summan gäller fordon som inte släpper ut någon koldioxid vid körning och den lägre för fordon som släpper ut upp till 50 gram koldioxid per kilometer vid blandad körning. En supermiljöbil är, utöver utsläppsbegränsningarna, bland annat typgodkänd enligt tredje kap. fordonsförordningen och är av Euroklasserna fem eller sex.

Laddstation

Eftersom det kan ta några timmar att ladda elbilar med en vanlig laddstation kan det finnas behov av att installera en sådan hemma för att kunna ladda bilen, exempelvis under natten. Kostnaden för en laddstation med installation är inte med i beräkningsmodellens resultat. Detta på grund av att laddstationen inte kommer att stå för mer än en minimal del av totalkostnaden och då det är ett högst individuellt beslut att införskaffa en sådan.

Alternativet snabbaddare finns även på marknaden, men det här riktar sig mest åt företag som erbjuder laddning åt sina kunder, dessa lösningar är även dyrare och oftast onödiga i ett hushåll. För att vidare undvika behovet av att ladda under dagen räknas det med att antalet kilometer bilen klarar av på en laddning är mer än vad användaren kör på en dag. Det finns ett antal olika leverantörer av laddstationer på marknaden idag och eftersom priset kan variera utefter många olika faktorer har ett schablonpris valts. Några av de varierande faktorerna är vilken leverantör som anställs, hur kunden bor i och med avstånd och struktur på omgivningen där laddstationen ska stå, och vilken laddbox som behövs eller väljes. Energimyndigheten uppskattar inköpskostnaden till 5 000 - 12 000 kronor för en laddstation exklusive installationskostnader [32]. Emobility.se,

som delvis är finansierat av Energimyndigheten, säger dessutom att kostnaden ligga mellan 7 000 - 20 000 kronor för en normalladdstation [33].

6.1.2 Legala utgifter

För att kunna lagligt köra en bil i Sverige tillkommer utgifter relaterade till fordonsskatt, försäkring och besiktning. Fordonsskatten har beräknats med hjälp av en formel medan försäkring och besiktning är uppskattade utgifter som antas gälla för samtliga bilar och individer.

Fordonsskatt

Enligt Skatteverket [34] beskattas alla personbilar med fordonsår 2010 eller senare som en funktion av fordonets koldioxidutsläpp. Skatten består av ett basbelopp på 360 kr per år, samt en rörlig del på 22 kr per gram koldioxidutsläpp över 111 gram per kilometer vid blandad körning. För nyregistrerade lågutsläppsfordon finns möjlighet till en femårig skattebefrielse. För elbilar och laddhybrider gäller att de inte får göra av med mer än 37 kWh per 100 km. Av empiriska studier framgår att alla elbilar i den här undersökning klarar det här kravet och är därmed skattebefriade de första fem åren och behöver därefter endast betala 360 kr per år. Bils katt kan även bero av hemkommun, antal axlar på fordonet, kopplingsanordning och användnings sätt. Dessa avvikelser bortses från i beräkningsmodellen.

Försäkring

Kostnaden för bilförsäkring skiljer sig markant mellan biltyper och bilmärken, och är beroende av kundens ålder, kön, bostadsort och olyckshistorik. Försäkringsbolagens beräkningsmodeller för att ta fram premiens storlek är inget de delar med sig av. Efter en långvarig diskussion med ett stort försäkringsbolag visade det sig vara omöjligt att ta fram genomsnittssiffror i den utsträckning som hade varit användbart för projektets syfte, det vill säga på bilmodellsnivå.

Konsumentverkets tjänst Bilsva r använder Autonets data för försäkringskostnader och uppskattar dessa till 2 000 kronor för de första tre åren. Därefter utgår vagnskadegarantin och försäkringspremien antas fördubblas till 4 000 kronor när bytet från halv- till helförsäkring sker.

Besiktning

Enligt Transportstyrelsen [35] skall en personbil med totalvikt under 3 500 kg besiktas första gången 34 månader efter den togs i bruk. Andra gången en besiktning behöver ske är två år senare och därefter skall kontrollbesiktning ske årligen. För att få fram ett kostnadsexempel på en kontrollbesiktning jämfördes de tre största besiktningsfirmorna: Besikta, Bilprovningen och Dekra. Snittpriset är ungefär 450 kronor per tillfälle [36]. Besiktning av el- och hybridbilar skiljer sig inte från den av bränslebilar. Eventuella ombesiktningar har inte inkluderats i modellen.

6.1.3 Driftrelaterade utgifter

Utgifter som är direkt relaterade till bilens drift presenteras nedan. Prognoser för drivmedelspriser har använts i modellen, tillsammans med en körsträcke baserad modell över kostnader för däck.

El- och bränslekostnader

En annan modellspecifik kostnadspost är drivmedelskostnaden eftersom alla bilar har individuell förbrukning som kan läsas mer om i avsnitt 4. Den här kostnaden beror förutom på bilens förbrukningsnivå även på det aktuella drivmedelspriset. Bixia, som är en elleverantör i Sverige, har gjort en elprisprognos som har efterfrågats och använts som grund i uträkningen av elprisets utveckling till och med år 2030 [37]. Den kompletta prognosen var inte tillgänglig men en överskådlig prognos erhö lls, och med ytterligare information från analyschefen på Bixia gjordes godtyckliga beräkningar. Priser för åren 2017, 2019, 2020, 2022 och 2030 var mottagna och mellan dessa år sattes en linjär stigning. Priserna var erhållna i euro och avser priset på elbörsen. Därför fick priserna omvandlas till kronor och för att få fram konsumenternas priser fick avgifter för elhandel, elcertifikat, elskatt och moms läggas till. Kostnader för elnät och fasta avgifter som tillkommer elkonsumenter har inte tagits med i kalkylerna eftersom de kommer vara konstanta oavsett om laddning av bilen eller inte.

En bensin- eller dieselpriisprognos påträffades inte, därför användes istället en prisstigningsprognos på olja som gjorts av Knoema [38] som förmodar att oljepriiserna kommer att stiga med ungefär 2,5 % per år, och det kan förmodas att bensin och dieselpriiserna följer denna trend. För validering jämfördes Knoems procentsats med ökningsgraden av priset på bensin och diesel de senaste 37 åren [39], vilka motsvarade cirka 2,1 % för bensin och 2,4 % för diesel. Därför ansågs 2,5 % ökning i pris per år vara relevant och användes vid både diesel- och bensinkostnadsuträkningarna med utgångspunkt i dagens pris.

Däck och däckbyte

Kostnader relaterade till bilens däck har tagits fram för olika bilsegment. Segmentskostnaderna är grundade i vilka fälgdimensioner som är vanligast i respektive segment. Genom att välja ett populärt däck som finns i samtliga dimensioner har en ungefärlig kostnad kunnat beräknas. Bilsva har med Konsumentverket uppskattat att en uppsättning däck behöver bytas ut efter 2 500 mils körning [40]. Utöver kostnader relaterade till införskaffande av nya uppsättningar däck tillkommer även kostnader för att byta till och från vinterdäck, vilket vardera behöver ske en gång per år. Kostnaden för det här uppskattas till 300 kronor per byte, efter empiriska studier. Den andra uppsättningen däck antas förvaras på så kallade däckhotell, som uppskattas kosta 800 kronor per år. Då lagring och byte kan ske privat finns här potential för besparingar. Huruvida det skiljer sig i beteende i den här rutinen mellan ägare av konventionella bilar och elbilar är ej utrett.

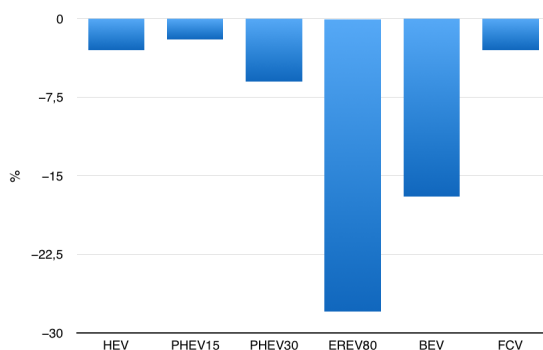
6.1.4 Utgifter relaterade till bilens skötsel

Slutligen uppkommer utgifter när ägaren skall ta hand om bilen, i form av service, tvätt och vård. Ytterligare har batteriets livslängd undersökts för att se hur det påverkar en elbils ägandekostnad. Dessa kostnader är högst individuella och genomsnittet har antagits gälla för alla användare i modellen.

Service

Den mest omfattande publicerade studien kring servicekostnader för svenska förbränningsbilar utförs av prisjämförelsetjänsten Lasingoo en gång per år. Studien bygger på biltillverkarnas rekommenderade servicescheman och genomsnittskostnader för utförandet av service. Den förutsätter att bilen körs 1 500 mil per år, och kostnaderna antas öka eller minska om den faktiska körsträckan skiljer sig. Servicekostnaderna för tio olika bilmodeller identifierades av studien och dessa snittas för att få fram en genomsnittssiffra för bilservice.

Elbilar och laddhybrider har lägre servicekostnader, som identifierats i rapporten ”Cost analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles including Maintenance Repair Costs and Resale Value” som fokuserar på den tyska marknaden [18]. Studien uppskattar olika typer av miljöbilars servicekostnader till att vara lägre än för konventionella bilar enligt figur 6.



Figur 6: Skillnader i servicekostnad jämfört med konventionell bil

Dessa skillnader antas även gälla på den svenska marknaden och används därför för att justera Lasingoos resultat för elbilar och laddhybrider. BEV står för elbilar (battery electric vehicles) och PHEV15 och PHEV30 står för laddhybrider (plug-in hybrids) med 15 respektive 30 km räckvidd. Snittet av PHEV15 och PHEV30 används för laddhybrider i studiens kalkyler.

Batteri

Elbilsbatterier är för nya för att hitta väsentliga fakta om. Antingen är artiklarna förlagade, eftersom tekniken utvecklas fort och ny information ständigt uppenbarar sig, eller så är de inte så utförliga eller relevanta för vårt projekt. Det som har varit

av intresse men inte skänkt oss några siffror är att bilbatterierna håller längre än vad som var beräknat från början. En trend på ökad garanti på batterier har observerats och då många garantier gäller i åtta år, och då garantier är menade att klara sig med marginal, har det antagits att batterierna håller i tio år. Eftersom priset på att byta batteri inte finns att tillgå har tiden för bilens innehav av användaren begränsats till tio år som maximalt valbara år att äga bilen.

Tvätt och vård

Det finns ett antal sätt som en bilägare kan tvätta och vårda sin bil på. Huvudsakligen står ägaren inför valet att rengöra bilen hemma, i en tvätthall eller i en maskintvätt. Då en tvätt av bilen hemma på garageuppfarten har stora negativa effekter på miljön [41] valdes det här alternativet bort. Att bygga kalkylerna på kostsamma besök i en maskintvätt ansågs inte heller relevant då det skulle ge en orimligt hög tvättkostnad. Därav är beräkningarna baserade på tvätt i tvätthall där smutsvatten samlas upp, och ägaren utför arbetet själv. Genom att besöka leverantörer av den här tjänsten, så som bensinstationer eller mer specialiserade bolag, kunde ett ungefärligt pris på 2,25 kr per minut erhållas. Då en biltvätt antas pågå i cirka 60 minuter, efter en enkät som jagrullar.se utfört [42], så landar kostnaden på 135 kr per gång.

Nästa variabel som behövde utredas var hur ofta en bil tvättas, här var det mer komplicerat att hitta något entydigt svar. Motormännen [43] säger att biltvätt bör ske minst en gång per månad, den här frekvensen användes som grund för kalkylerna. Därefter var frågan hur mycket medel och redskap som behövs för att utföra tvättarna. Efter att ha identifierat ett tvättmedel och läst dess rekommendationer visade det sig att 30 ml räcker till en tvätt. Då en flaska á 1 400 ml kostar cirka 230 kronor [44] innebär det här cirka fem kronor per tvätt. Därefter adderades lite för kostnader relaterade till hink och svamp samt eventuellt användande av andra bilvårdsmedel. Totalt sett antogs en årlig tvättkostnad på 1 800 kronor.

6.2 Restvärde och finansiering

Bilägandet för även med sig en komplex fråga kring hur den initiella investeringen skall finansieras. En vanlig typ av billån är annuitetslån där månadskostnaden till stor del beror av amorteringsbeloppet. Amorteringsbeloppet är i sin tur beroende av bilens uppskattade restvärde i slutet av ägandetiden och därför har även bilens restvärde analyserats nedan.

6.2.1 Restvärde

Bilens restvärde, alltså andelen av inköspriset som återfås när bilen säljs vidare i slutet av ägandeperioden, har tagits fram genom en analys av försäljningsplattformen Blocket.se. Existerande studier om restvärde finns att tillgå för bränslebilar men ej för elbilar. För att både få en restvärdesfunktion för elbilar och hybrider, och jämförbara siffror mellan dessa och förbränningsbilar har en egen studie genomförts. Studien bestod av att bilar av olika drivmedelsslag delades upp varav årsmodell samt mätarställning identifierades med syftet att erhålla värdeminskningmodeller åt de olika biltyperna. Bilarna analyserades sedan utefter dessa parametrar för att se hur de påverkade restvärdet. Genom att rita sambandsdiagram mellan faktorerna och värdeminskningen kunde slutsatser dras. Det var tydligt att elbilarnas och laddhybridernas värdeminskning skiljde sig från de bränsledrivna bilarnas. De förstnämndas värdeminskning beror primärt på bilens ålder, medan de bränsledrivna bilarnas värdeminskning berodde både på ålder och körda mil. De inhämtade datapunkterna utgjorde därefter underlag för exponentiella värdeminskningsskurvor. Resultatet av studien jämfördes sedan med befintlig statistik, bland annat från amerikanska NADA:s ”Used Car Guide” [45], vilket kan läsas mer om i avsnitt 9.3.1.

6.2.2 Finansiering och ränteläge

Bilköpet antas finansieras antingen med helt likvida medel eller genom belåning. Vid belåning är depositionen av handpenningen 20 % av bilpriset och är ett krav för att beviljas billån hos en bank med en lägre ränta [46]. I annat fall finns exempelvis blancolån, som är ett privatlån utan kontantinsats, att tillgå till högre ränta., I den här modellen har vanligt billån antagits eftersom det är mer gynnsamt för användaren.

För att kunna presentera representativa finansieringskostnader används annuitetslån, på så sätt hålls månadskostnaden konstant över hela ägandeperioden. Även om rak amortering också är ett alternativ ger det inte en lika jämförbar siffra på finansieringskostnaden. Låneräntan antas vara stabil vid 5,5 %.

Amorteringsnivån i modellen motsvarar differensen mellan lånesumman och restvärdet efter ägandehorisonten. Det motsvarar alltså den minsta summa som måste betalas av för att inte få någon restskuld vid vidareförsäljning. Om restvärdet är större än lånebeloppet sker alltså ingen amortering. I projektet antas restvärdet som uppskattas av banken vara densamma

som den framtagna beräkningsmodellen resulterar i då de befintliga modellerna som används skiljer sig mellan banker och amorteringsbeloppet antas kunna förhandlas.

7 Genomförande: Applikationen Elbilsguiden

Initialt diskuterades webbsidans funktionlitet och omfattning internt inom gruppen, för att få en gemensam bild. Utgångspunkten blev någon form av frågeformulär som kompletterar beräkningsmodellerna och därefter en lista på rekommenderade bilmodeller.




Design

Arbetet påbörjades med att ta fram relevanta frågor att ställa till en person som står inför ett elbilsköp. Fokus i processen låg på att få in så mycket relevant data som möjligt utan att försämra användarupplevelsen. Under detta steg var handledare och examinator involverade vilket gav kompletterande synpunkter. Överenskommelsen blev att fokus skulle vara att ta fram designen och beräkningsmodellerna men att implementationen skulle ske internt enbart i mån av tid.

Under ett reflektionsmöte med handledare efter halva projekttiden, framkom en möjlighet att samarbeta med utvecklare på Svalna. Svalna är en hemsida som visar användaren hur mycket utsläppspåverkan han eller hon bidrar till i sitt dagliga liv och är därför närbesläktad med projektet. Förhoppningen var att kunna få hjälp med implementationen och på så sätt avlasta projektet. Ett möte bokades med utvecklarna för att diskutera webbsidans utseende och funktionalitet.

Inför mötet färdigställdes en design för webbsidan genom flera interna grafiska workshops. Sidans layout och funktionalitet diskuterades och planerades på en avancerad nivå då kompetens nu fanns tillgängligt för att nå den nivån. Resultatet av gruppens sammankomster finns illustrerat i figur 7. Tanken med frågorna var att på ett enkelt sätt fånga upp användarens, praktiska behov, ekonomiska situation samt dess körvanor. De presenteras närmare i avsnitt 8.7.

Figur 7: Sketch över gränssnittets utseende

<p>Fråga om budget</p>  <input data-bbox="662 1056 751 1108" type="text"/>	<p>Fråga om kontantinsats</p> <input data-bbox="873 1056 1318 1108" type="text"/>
	
<p>Fråga om körsträcka och vägtyp</p> <input data-bbox="295 1476 760 1528" type="text"/>	<p>Fråga om ägandehorisont</p>  <input data-bbox="1227 1465 1318 1518" type="text"/>

Mjukvaruutveckling

Dessvärre visade det sig, en längre tid efter mötet, att Svalna varken hade tid eller ekonomiska medel att ta sig an uppgiften. Istället påbörjades implementationen av webbguiden internt i gruppen med fokus på att kunna använda den vid resultatberäkningar samt ha en första version att visa upp vid slutinlämningen.

Ett vanligt ramverk för webbapplikationer, Django, valdes för projektet. Alternativa ramverk använder andra språk men Python, som används i Django, ansågs som ett modernt och nybörjarvänligt programmeringsspråk. Django har grundläggande funktionalitet som kunde utnyttjas i projektet utan någon större uppstart.

Med hjälp av en tidigt identifierad introduktion till ramverket kunde grundläggande kunskaper inhämtas. För att kunna arbeta parallellt och samtidigt ha en säker versionshantering utnyttjades verktyget git och ett gemensamt repository startades.

I linje med det agila arbetssättet identifierades vertikala tvärsnitt i funktionaliteten för att möjliggöra inkrementell implementation av gränssnittet. Inledningsvis skapades en skalapplikation som var en fungerande webbsida utan något innehåll. Skalet tjänstgjorde därefter som en plattform för vidare utveckling, där nästa steg innefattade lagring av bilar i en databas som sedan presenterades via en lista. Vidare introducerades ett frågeformulär för att kunna samla in data från användaren.

Nästa delmål var att kunna utföra någon av de i rapporten presenterade kostnadsberäkningarna. Fokus låg inledningsvis på implementation av de ekonomiska beräkningsmodellerna då de var mer färdigställda. Stegvis utvecklades funktionalitet för var och en av de ekonomiska kostnadspunkterna för att kunna presentera en total månadskostnad för användaren. Parallellt med detta utökades frågeformuläret, databasen och resultatlistan för att stödja denna funktionalitet. Samma process följdes därefter för implementation av beräkningar relaterade till klimatpåverkan.

Viss problematik dök upp i samband med implementationen. Ingen specifik tid var avsatt för problemlösning utan denna skedde löpande under arbetets gång. När implementationen av beräkningsmodellerna överensstämde med resterande delar av projektet skiftades fokus till att göra gränssnittet visuellt tilltalande och användarvänligt. Därefter avslutades utvecklingsprocessen med att förbereda webbsidan för lansering.

8 Resultat

I resultatdelen av studien visas hur kalkylerna fungerar i praktiken genom att använda bilar som finns på marknaden. Först presenteras den färdiga kalkylen och sedan exempel på vilka utsläpp som existerande bilar får när kalkylen används.

8.1 Koldioxidutsläpp vid tillverkning

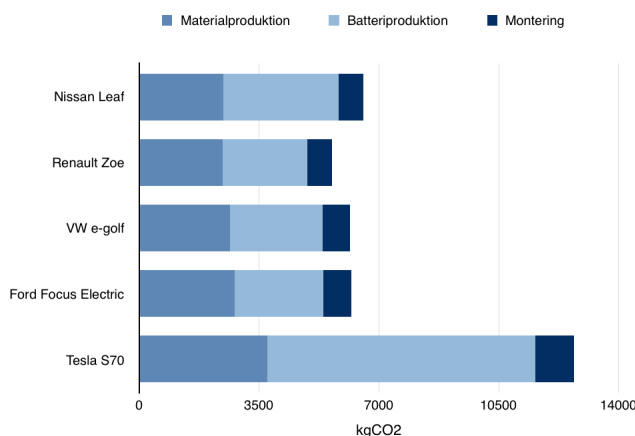
Den slutgiltiga kalkylen för att beräkna utsläpp från hela produktionen (C_p) i CO₂ kan ses i ekvation 19 nedan:

$$C_p = C_{mp,tot} + C_{m,tot} + C_B \quad (19)$$

$C_{mp,tot}$ är utsläppen från materialproduktionen av stål och aluminium för bilen, $C_{m,tot}$ är utsläppen som sker vid montering av material och C_B är utsläppen från batteritillverkningen. I alla tre fallen har informationen inhämtats från tidigare gjorda LCA-studier samt har förenklingar gjort som har motiverats ovan. Modellen fungerar dock som en indikator över vilken storlek som koldioxidutsläppen i tillverkningen är i.

8.1.1 Tillverkningskalkylen i praktiken

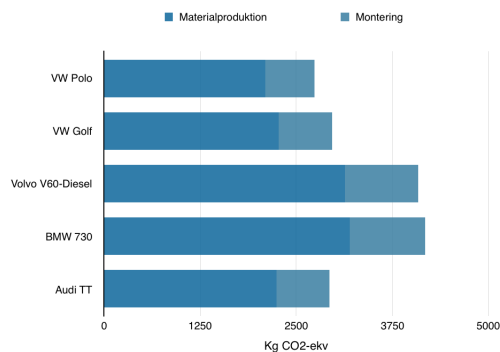
I den här delen kommer fem elbilars utsläpp under tillverkningen beräknas enligt de modeller som togs fram i avsnitt 5. Utsläppen från tillverkningsprocessen av material består av en rad faktorer: i det här exemplet har endast stålutvinningen samt aluminiumutvinningen valts att studeras. Vikten av stål och aluminium har beräknats med hjälp av den deklarerade tjänstevikten hos bilarna. Andelen stål och aluminium kommer från tabell 4 i avsnitt 5, och har sedan multiplicerats med tjänstevikten hos varje bil. Resultatet från den här kalkylen kan ses i figur 8



Figur 8: Total koldioxidutsläpp för elbilar under produktion [kg CO₂]

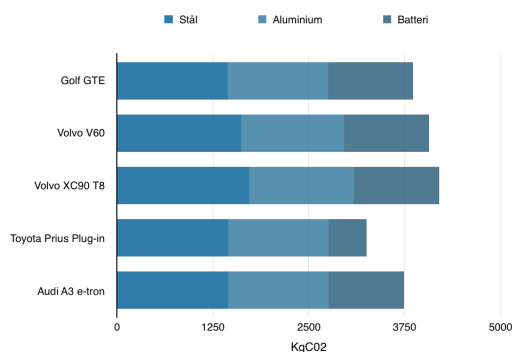
Dessa värden är baserade på de uppgifter som tidigare tagits fram för respektive material. Då energikonsumtionen vid framtagande av material samt mängden material ett fordon består av skiljer sig, resulterar det en betydlig skillnad i koldioxidutsläpp för respektive material. Utsläppen från batteritillverkningen har beräknats fram med hjälp av hur mycket energi som går åt vid tillverkningen av ett batteri samt vilken kapacitet batteriet har. Vilken kapacitet batteriet har skiljer sig mellan olika fordon. Här är det tydligt att Tesla S 70 skiljer sig från de andra elbilarna genom att ha betydligt högre batterikapacitet. De här utsläppen förhåller sig rimliga i jämförelse med liknande studier som har genomfört LCA över tillverkningen av elbilar. I en studie gjord av Nordelöf et al. så har en LCA av flertalet bilar gjorts [23]. Där beräknades tillverkningsutsläppen för en Nissan Leaf till 5 280 kg CO₂, vilket är nära 6 000 kg CO₂ som presenteras i figur 8.

För en konventionell bil beräknas koldioxidutsläppen på samma vis men med en annan viktfordelning av materialen som skillnad, se tabell 4 i avsnitt 5.1.2. Inte heller det stora batteriet som finns i elbilar finns i en bränslebil. Utsläppen under tillverkningen av en bränslebil illustreras i figur 9. I studien av Nordelöf et al. så är utsläppen vid tillverkning av en Volvo S40 diesel 4 800 kg CO₂, vilket är nära utsläppen i figur 9 för en Volvo V60 diesel som är på 4 000 kg CO₂.



Figur 9: Totalt koldioxidutsläpp för bränslefordon under deras produktion

Vidare är koldioxidutsläppen vid produktionen för ett antal hybridbilar representerade i figur 10.



Figur 10: Totalt koldioxidutsläpp för laddhybrider under deras produktion

För att få en bra uppfattning om utsläppskillnaderna i produktionsfasen mellan dessa olika fordontyper så representeras mängden koldioxidutsläpp i avseende på bilens tjänstevikt. Det visar sig att en elbil har en större klimatpåverkan vid tillverkning. Koldioxidutsläpp per kg för elbilen är dock ett medelvärde då batteriutsläppen skiljer mellan olika fordon. Det här redovisas i tabell 5.

Tabell 5: Skillnad i koldioxidutsläpp mellan olika fordontyper vid produktion [kg CO₂/kg]

Fordonstyp	Koldioxidutsläpp för fordon per kilo
Elbilar	4,61
Konventionella bilar	2,28
Hybridbilar	1,71

8.2 Koldioxidutsläpp under återvinningen

Vid fordonets slutfas i livscykel så sker det en återvinningsprocess. Material som återvinns är aluminium och stål för karossen samt litiumjonmaterial och koppar för batteriet. Mängden koldioxidutsläpp som förekommer vid återvinningen skiljer sig mellan olika fordontyper. För den konventionella bilen är återvinningsutsläppen annorlunda de olika modellerna då olika materialandel antagits gälla. Det förekommer även en skillnad i utsläpp mellan olika elbilar vid återvinningen. Anledningen till det här är olika mängden litiumjonmaterial och koppar i batteriet kan variera.

Utsläppen vid återvinningen för endast batteriet förenklades:

$$C_{Br} = 6,91 \cdot B_k, \quad (20)$$

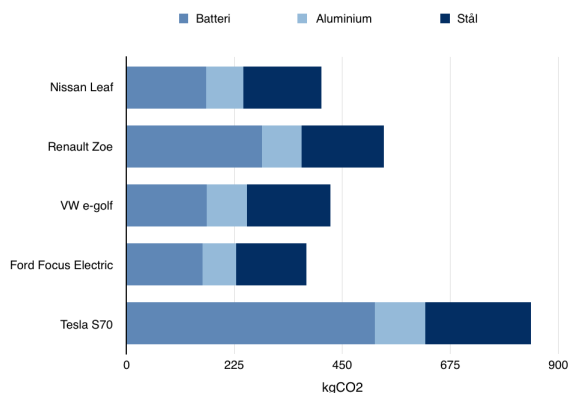
där B_k är batterikapacitet. Hela återvinningsprocessens klimatpåverkan i koldioxidutsläpp för en elbil kan beräknas på följande sätt:

$$C_{R,e} = C_{R,s} + C_{R,a} + C_{Br}, \quad (21)$$

där $C_{R,s}$ är utsläppen från återvinningen av stål, $C_{R,a}$ utsläppen från aluminium och C_{Br} utsläppen för batteriåtervinningen. För den konventionella bilen så beräknas återvinningsprocessens klimatpåverkan på samma sätt exklusive koldioxidutsläppen från batteriet.

8.2.1 Återvinningskalkylen i praktiken

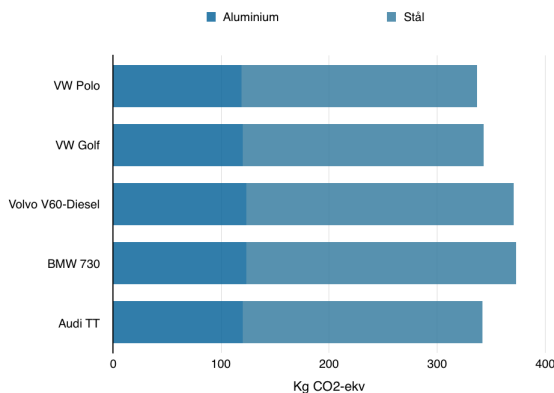
Koldioxidutsläppen vid återvinningen för elbilen varierar eftersom batterikapacitet samt mängden material varierar mellan olika fordon. Figur 11 visar den här skillnaden mellan olika elbilar.



Figur 11: Koldioxidutsläpp vid återvinning av material för valda elbilar [kg CO₂]

Batterikapaciteten har en avgörande faktor då den största klimatpåverkan vid återvinningen är batteriets återvinning. Anledningen till detta är att det krävs höga mängder energi för att återvinna litiumjonmaterial [15].

För den konventionella bilen representeras återvinningsutsläppen i figur 12.



Figur 12: Koldioxidutsläpp vid återvinning av material för valda bränslebilar [kg CO₂]

8.3 Koldioxidutsläpp under användningsfasen

Kalkylen för att beräkna elbilens utsläpp vid drift är:

$$C_{d,e} = l \cdot v \cdot e_v, \quad (22)$$

där l är distansen bilen kör under hela sin livstid i kilometer och v är verkningsgraden hos elbilen i fråga, i kWh/km.

Verkningsgraden skiljer sig från bil till bil, och är specificerad när en specifik bil jämförs. För att kunna beräkna hur mycket utsläpp som genereras på grund av elbilens laddning måste även en elmix bestämmas.

Kalkylen för drift av en bränslebil är:

$$C_{d,b} = b \cdot l \cdot W, \quad (23)$$

där b är bränsleförbrukning, l är körd sträcka och W är WTW-utsläppen som beskrivs i avsnitt 5.4.2.

8.3.1 Driftkalkylen i praktiken

För att få en uppfattning om vad kalkylen ger för siffror, samt hur elbilar i verkligheten skiljer sig från varandra, följer här ett räkneexempel gjord på fem elbilar som finns på marknaden idag, se tabell 6. Bilarna i fråga har antagits köra 20 000 mil, vilket motsvarar 200 000 km, under sitt liv. De antas även köra främst i Sverige och har därmed elmixen som togs fram i 5.4.1. I tabell 6 visas fem vanliga elbilar och dess utsläpp vid drift då ekvation 22 används.

Tabell 6: Koldioxidutsläpp vid drift för olika elbilar

Bilmodell	Energiförbrukning [kWh/km]	Körd sträcka [km]	Elmix [kg CO ₂ -ekv/kWh]	Total utsläpp [kg CO ₂ -ekv]
Nissan Leaf II	0,15	200 000	0,029	870
Renault Zoe	0,146	200 000	0,029	847
VW e-golf	0,127	200 000	0,029	737
Ford Focus Electric	0,154	200 000	0,029	893
Tesla S 70	0,17	200 000	0,029	986

Energieffektivitet är ett mått på hur mycket energi en elbil förbrukar per kilometer. En bil som förbrukar mycket energi per kilometer, hög energieffektivitet i det här fallet, har alltså låg verkningsgrad. Då Tesla i det här fallet har högst energiförbrukning per kilometer är det följaktligen den bilmodell som har högst koldioxidutsläpp under driften.

För bränslebilar används ekvation 18 från avsnitt 5.4.2. Här multipliceras bränsleförbrukningen för varje bil med körd sträcka samt WTW-utsläpp för bränslet i fråga. I det här fallet var den här typen av utsläpp 2,94 kg CO₂/liter, för både diesel och bensen. Resultatet för exemplet med bränslebilar går att se i tabell 7.

Tabell 7: Koldioxidutsläpp vid drift för olika bränslebilar

Bilmodell	Bränsleförbrukning [liter/km]	Körd sträcka [km]	WTW-utsläpp [kg CO ₂ -ekv/liter]	Totalt utsläpp [kg CO ₂ -ekv]
VW Polo	0,06	200 000	2,94	35 280
VW Golf	0,048	200 000	2,94	28 224
Volvo V60-Diesel	0,043	200 000	2,94	25 284
BMW 730	0,062	200 000	2,94	36 456
Audi TT	0,085	200 000	2,94	49 980

I tabell 7 är det möjligt att se att bränslebilar har betydligt större utsläpp under drift än vad elbilen har. Exempelvis är Volkswagen Golf och en Volkswagen e-Golf jämnstora bilar, men de har helt skilda utsläpp under driften som kan ses i tabell

6 och 7. Dock har elbilen betydligt högre tillverkningsutsläpp tack vare det stora batteri som krävs.

8.3.2 Hybriddbils drift i praktiken

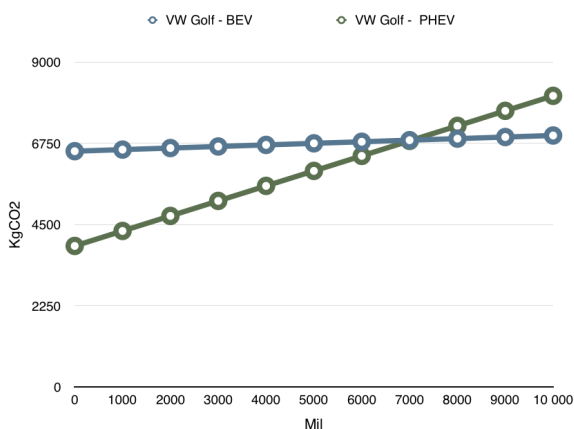
Hybriddbilen kombinerar de två tidigare driftmodellerna då den drivs på flera kraftkällor. För beräkningen av koldioxidutsläppen för hybridbilen under drift har förutsatts att vid en daglig körning, 75 km, först drivs endast på batteriet medan resterande sträcka drivs på bränsle. Därmed kan koldioxidutsläpp per km härledas där koldioxidutsläpp för både el- och bränslebilar ingår. Mängden koldioxidutsläpp samt skillnader mellan olika hybridbilar under driften visas i tabell 8.

Tabell 8: Koldioxidutsläpp vid drift för olika hybridbilar

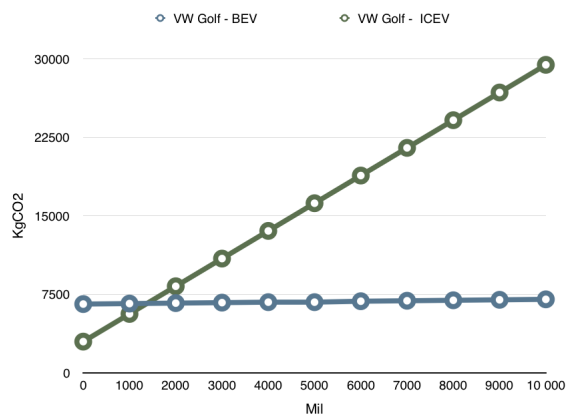
Bilmodell	Bränsleförbrukning [liter/km]	Körd daglig sträcka [km]	Körd daglig sträcka endast på batteriet [km]	WTW-utsläpp [kg CO ₂ -ekv/liter]	Elförbrukning [kWh/km]	Totalt utsläpp efter 200 000 km
Golf GTE	0,04	75	50	2,94	0,123	8579
Volvo V90	0,05	75	43	2,94	0,133	13 231
Volvo XC90	0,1	75	43	2,94	0,133	25 775
VW Passat	0,04	75	50	2,94	0,123	8579
Audi A3 e-tron	0,07	75	50	2,94	0,110	14 377

8.4 Klimatpåverkan som härleds till första ägaren

Som har kartlagts i figurerna 8 samt 10, så har elbilar betydligt större koldioxidutsläpp vid produktionsfasen än vad en konventionell bil har. Det här beror främst på de högre koldioxidutsläppen som förekommer vid batteritillverkningen. Hybridbilen har något mindre batteri än elbilen, men den har även förbränningsmotorn som finns i bränslebilen. Dock är koldioxidutsläppen som förekommer under driftfasen av en konventionell bränslebil betydligt högre än de för både elbilen och hybridbilen. Det här leder till att en konsument som köper en ny elbil måste köra en viss sträcka för att det ska bli förmånligt för inneha en elbil jämfört med de andra fordontyperna. I figur 13 och 14 illustreras hur elbilens koldioxidutsläpp vid nyköp förhåller sig till hybridbilens samt bränslebilens efter antal körda mil. Den här jämförelsen gäller första konsumentens ägande och inkluderar därför inte någon avskrivning på mängden koldioxid utefter värdeminskningen, som presenterades i avsnitt 5.3.



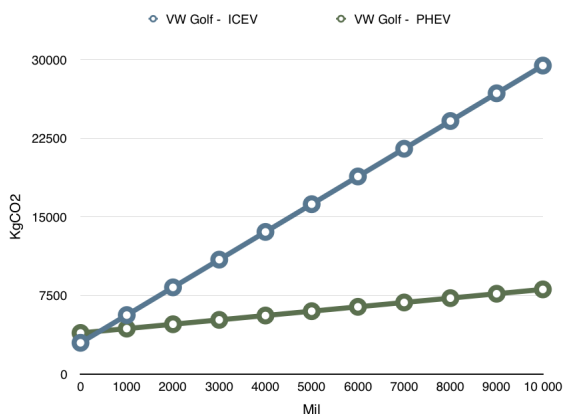
Figur 13: Brytpunkt när lönsamhet inträffar ur ett klimatmässigt perspektiv mellan en elbil och hybridbil



Figur 14: Brytpunkt när lönsamhet inträffar ur ett klimatmässigt perspektiv mellan en elbil och konventionell bil

I figur 13 syns det att det blir lönsamt rent utsläppsmässigt att äga en elbil först efter 7 000 mil jämfört med en hybridbil. Vid jämförelsen mellan elbilen och bränslebilen sker punkten för lönsamhet tidigare, redan vid ungefär 1 500 mil. Samma jämförelse

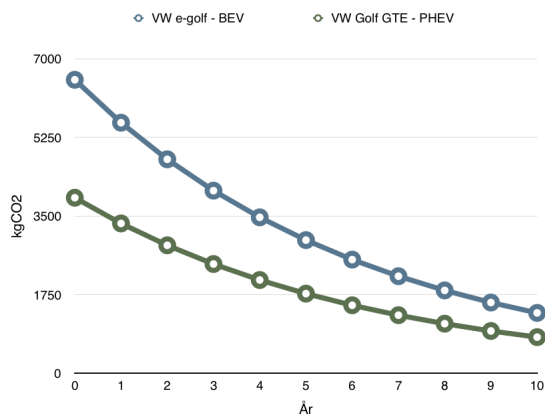
sker mellan en bränslebilen och hybridbilen, och visualiseras i figur 15. De båda bilarna har lika mängd koldioxidutsläpp vid tillverkningen, men bränslebilen ökar snabbt på grund av sin höga utsläpp under driften.



Figur 15: Brytpunkt när lönsamhet inträffar ur ett klimatmässigt perspektiv mellan en elbil och hybridbil

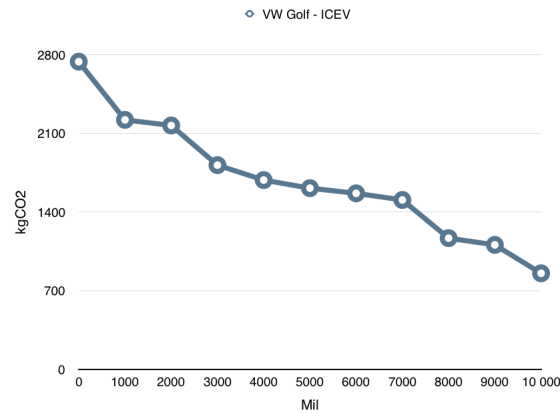
8.5 Klimatpåverkan vid vidareförsäljning

Som konsument och bilägare bärs ett ansvar för koldioxidutsläppen som inträffar under ett fordonets livscykel. Då antalet bilägare under fordonets livsspann kan variera, fördelas därmed totala koldioxidutsläppet. Fördelningen av tillverkningsutsläppen samt återvinningsutsläppen fördelas på de olika ägarna av bilen utefter värdeminskningen av bilen. Privatpersonen är sedan enskilt ansvariga för den mängd koldioxidutsläpp som förekommer under dennes körning. Beroende på när en konsument tar över bilen så varierar mängden koldioxidutsläpp som den nye konsumenten får ansvara för, enligt ekvation 15 i avsnitt 5.3. Hur den här avskrivningen av klimatpåverkan varierar beroende på när konsumenten tar över fordonet illustreras i figur 16.



Figur 16: Mängden koldioxidutsläpp som förs över till nästa bilägare som en funktion av år

För en konventionell bränslebil är den påverkande faktorn den körda sträckan, enligt 6.2.1. För en årlig körsträcka på 10 000 km medför en avskrivning som illustreras i figur 17.



Figur 17: Mängden koldioxidutsläpp som förs över till nästa bilägare som en funktion av körsträcka

8.6 Ekonomiska resultat

För att illustrera resultatet av den ekonomiska delen av projektet redovisas i tabell 9 tre TCO:er för tre olika bilar. En elbil, en laddhybrid och en bensinbil från Volkswagens Golf-serie. Erlagd handpenningen är 100 000 kr, ägandehorisonten är tre år och ägaren antas köra 10 000 km per år, vilket motsvarar 50 km per arbetsdag då körningen sker fem dagar i veckan, 40 veckor om året.

Tabell 9: Total ägandekostnad, alla siffror är i kronor

Bilmodell:	VW e-golf - BEV	VW Golf GTE - PHEV	VW Golf - ICEV
Inköpspris	392 000	379 500	201 000
Premie	40 000	20 000	0
Restvärde	244 023	229 948	141 561
Drift	2952	4608	39 564
Finans	48 924	70 056	16 668
Däck	16 200	16 200	16 200
Tvätt	5400	5400	5400
Försäkring	6000	6000	6000
Besiktning	0	0	0
Skatt	0	0	1080
Service	8964	10 656	11 052
Total kostnad	79 476	102 264	84 912
Månadskostnad	2457	3136	2665

Inköpspriserna är inhämtade från Skatteverket. Premien är 40 000 kr för elbilen och 20 000 kr för laddhybriden. Totalkostnaden är summan av kostnaderna för drift, finansiering, däck, tvätt, försäkring, besiktning och skatt. Månadskostnaden erhålls därefter genom att dividera totalkostnaden med antal månader under ägandeperioden. Låneräntan är 5,5 % under hela ägandetiden.

Driftkostnaden beräknas olika beroende på den drivmedelstyp som bilen använder. Elbilen kör enbart på el, bränslebilen enbart på bensin och laddhybriden primärt på el och resterande sträcka på bensin. Ekvationerna för daglig förbrukningskostnad kan ses i ekvation 24 till 27:

$$K_e = l \cdot \frac{B_k}{r} \cdot K_{el} \quad (24)$$

$$K_b = l \cdot b \cdot K_{br} \quad (25)$$

$$K_h(B_k < r) = l \cdot \frac{B_k}{r} \cdot K_{el} \quad (26)$$

$$K_h(B_k > r) = r \cdot \frac{B_k}{r} \cdot K_{el} + (l - r) \cdot b \cdot K_{br} \quad (27)$$

där K är kostnaden vid drift i kronor och nedsänkt e står för elbil, b för bränslebil och h för laddhybrid, l är daglig distans i km, B_k är batterikapacitet i kWh, r är räckvidd i km och B_k/r är därmed elförbrukningen, K_{el} är elpris i kronor per kWh från tabell 10, b är bränsleförbrukning i l/km och K_{br} är kostnaden för bränsle i kr/l som också hämtas från tabell 10. Dessa siffror multipliceras därefter med fem arbetsdagar och 40 arbetsveckor för att få årskostnaden.

Tabell 10: Prognoser för el- och bensinpriser

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Bensin pris [kr/liter]	14,27	14,63	14,99	15,37	15,75	16,15	16,55	16,96	17,39	17,82
Dieselpriis [kr/liter]	14,06	14,41	14,78	15,78	15,52	15,91	16,31	16,71	17,13	17,56
Elpris [kr/kWh]	0,802	0,774	0,745	0,7685	0,803	0,838	0,842	0,847	0,851	0,856

Finansieringen beräknas med ekvation 28:

$$K_c = \frac{(P_0(1+R)^n - L)R}{(1+R)^N - 1} \quad (28)$$

där K_c är den månatliga finansieringskostnaden, P_0 är det initiala lånebeloppet, R är månadsräntan, n är antal månader under ägandeperioden och L är låneresten vid ägandeperiodens slut. Lånebeloppet är differensen mellan priset, inklusive subventioner, och handpenningen. Om handpenningen är större än det pris, inklusive subventioner, som behövs sker alltså inget lån. Låneresten, den del av lånet som inte amorteras, beror på bilens restvärde. Om restvärdet är större än det initiala lånebeloppet sker ingen amortering och låneresten blir följdaktligen oförändrad. Om restvärdet däremot är lägre än det initiala lånebeloppet blir låneresten lika med bilens restvärde. Restvärdesberäkningen kan observeras närmare i tabell 12 och 13.

Nästa kostnadspost, däck, består av en generell del för förvaring och byte samt en samt en segmentsberoende del för inköp. Kostnaden för förvaring och byte är 1 400 kr per år. Kostnaden för däckinköp kan ses i tabell 9, denna inköpskostnad måste sedan justeras med avseende på däckens hållbarhet. För total årlig däckkostnad, se ekvation 29:

$$K_D = K_f + \frac{i}{2500} \cdot l \quad (29)$$

där K_D står för däckkostnad, K_f är kostnaden för förvaring samt byte, K_i är inköpskostnaden och l är den årliga distansen i mil.

Kostnaden för tvätt och vård är 1 800 kr per år och är densamma för alla bilar. Försäkringspremien beror på bilens ålder, de första tre åren ligger kostnaden på 2 000 kr och därefter 4 000 kr årligen. Besiktning sker första gången tre år efter inköpet, därefter två år senare och sedan årligen. Priset för en besiktning är 450 kr per tillfälle. Fordonskattens storlek beror på biltyyp och dess utsläpp.

För vissa bilar finns dock en femårig skattebefrielse. Då gäller att bilen måste vara klassificerad i utsläppsklass Euro 5, Euro 6, El, Elhybrid eller Laddhybrid. Bilens koldioxidutsläpp får inte överstiga det nedan beräknade koldioxidutsläppet C_{max} .

Tabell 11: Fordonsskatt

Bränsletyp	Årlig fordon skatt [kr]
Bensin	$360 + 22 \cdot (u - 111)$
Diesel	$360 + 22 \cdot (u - 111) \cdot 2,37 + 500$
Elbil	360

Om bilen är en laddhybrid eller elbil får den inte förbruka mer än 37 kWh per 100 km. För att erhålla skattebefrielsen får inte koldioxidutsläppet, i g CO₂/km, överstiga det tal som erhålls ur ekvation 30, w är tjänstevikten i kg.

$$C_{max} = (w - 1372) \cdot 0,0457 \quad (30)$$

Restvärdet beräknas olika beroende på bränsletyp. I tabell 12, där l är total distans i mil, återfinns restvärdet för bensin- och dieslbilar och i tabell 13 motsvarande siffror för el- och hybridbilar. Där är t ägandetiden i år.

Tabell 12: Restvärde bränslebil

Ålder (år)	Restvärde (% av inköpspris)
1	$0,8113 \cdot e^{-7 \cdot 10^{-7} \cdot d}$
2	$0,8246 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
3	$0,7043 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
4	$0,64 \cdot e^{-1 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
5	$0,6506 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
6	$0,6449 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
7	$0,6328 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
8	$0,5001 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
9	$0,6338 \cdot e^{-5 \cdot 10^{-5} \cdot d}$
10	$0,3182 \cdot e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot d}$

Tabell 13: Restvärde elbil och laddhybrid

Biltyp	Restvärde (% av inköpspris)
Elbil	$e^{-0,158 \cdot t}$
Hybridbil	$e^{-0,167 \cdot t}$

Servicekostnaden beräknas olika beroende på biltyp. För elbilar är månadskostnaden 249 kr, laddhybrider 296 kr och bensinbil 307 kr.

Totaläganingskostnaden är summan av driftkostnad, finansiering, däck, tvätt, service, försäkring, besiktning, skatt. Månadskostnaden erhålls därefter genom att dividera totalkostnaden med antal månader under ägandeperioden.

8.7 Resultat: Gränssnitt

Resultatet av kommunikation med relevant expertis samt kollaborativa diskussionsforum syns inledningsvis i tabell 14 i form av de frågor som skall ställas till gränssnittets användare för att samla in kompletterande indata till beräkningsmodellerna.

Tabell 14: Frågor till användaren

Data som inhämtas	Fråga
Investeringsbelopp	Hur mycket kan du spendera på kontantinsats?
Månadsbudget	Hur mycket pengar kan du lägga i månaden?
Biltyp	Vilken typ av bil vill du ha?
Körsträcka	Hur långt kör du per arbetsdag?
Vägartyp	Vilken vägartyp brukar du köra på?
Ägandehorisont	Hur länge tänkte du behålla bilen?

Forsatta dialoger externt och internt resulterade därefter i de resultatparametrar som presenteras i tabell 15. Den gemensamma ståndpunkten var att tydligt kommunicera beräkningsmodellernas resultat till användarna utan att överväldiga dem med för mycket information.

Tabell 15: Resultatparametrar

Data som presenteras	enhet
Månadskostnad	kr/mån
Totalt utsläpp	kg CO ₂ -ekvivalenter
Räckvidd	km
Inköpspris	kr

Implementationsprocessen resulterade i en webbsida. En skärmdump av formuläret på sidan visas i figur 18. Webbsidan kan med valfri webbläsare besökas www.elbilsguiden.com där majoriteten av elbilarna på marknaden finns med i databasen. Beräkningsmodellerna för både ekonomi och klimatpåverkan är korrekt implementerade. Därav har den varit ett användbart verktyg för att analysera modellernas resultat som syns i 9.5.

Elbilsguiden - Vilken elbil x

Säkert | <https://www.elbilsguiden.com>

elbilsguiden Om guiden

Hitta den perfekta elbilen för dig!

Kontantinsats:

Månadsbudget:

Sträcka per dag:

Ägandehorisont:

Segment:

A B C D E F J M S

Hitta bil!

© ENMX02-17-04 2017
mer info: info@elbilsguiden.com

Figur 18: Guidens webbgränssnitt

Genom att fylla i frågeformuläret och klicka på knappen 'Hitta bil!' körs beräkningsmodellerna med den individuella datan. Användaren presenteras därefter med en lista på passande bilmodeller rangordnade efter månadskostnad i stigande ordning. För varje bilmodell presenteras resultatet av beräkningsmodellerna på sättet som syns i figur 19. Beräkningen antar att användaren pendlar angiven sträcka fem dagar i veckan, 40 veckor om året.



Figur 19: Resultatvyn på elbilsguiden.com

Ovanstående bil är exempel på resultatet av en sökning med en kontantinsats på 100 000 kr, en daglig körsträcka på 50 km och en ägandehorisont på tre år. Bilmodellens namn, drivlina och storlek presenteras tillsammans med utdata från beräkningsmodellerna. Inköpspriset och restvärdet skrivs ut följt av användarens förväntade andel av det totala utsläppet samt den uppskattade månadskostnaden under ägandetiden.

9 Analys och diskussion

Alla modeller är per definition förenklingar av verkligheten och är därmed aldrig korrekta. Denna modell av utsläpp och ekonomi hos en elbil över en ägandehorisont visade sig vara så bred och djup i definitionen att det finns många aspekter att ta hänsyn till, och varje aspekt är komplex. För att då kunna presentera ett kvalitativt resultat inom rimliga ramar, både tidsmässigt men även resursmässigt, har många förenklingar och antaganden gjorts.

9.1 Koldioxidutsläpp

De problem som initialt identifierades i avsnitt 1.2.1 behandlade i stor utsträckning vilka parametrar som kunde tänkas ingå i utsläppsmodeller för ett fordon. De här problemen har till största del besvarats genom studiens gång. Alla antaganden och förenklingar leder till att vissa resultat är långt ifrån sanningen. Dock var inte syftet med studien att få fram exakta siffror som köpet av en elbil innebär, ekonomiskt som utsläppsmässigt, utan att få en uppfattning om hur elbilen står sig i förhållande till en bränsle driven motsvarighet.

Metodiken som användes genom hela utsläppsdelen var till stor del att testa hypoteser genom faktasökning och i många fall fick hypoteserna ändras då ny fakta kom fram. Exempelvis fanns det osäkerheter angående vilken elmix som skulle användas. För att räkna ut koldioxidutsläppen vid drift för elbilar skulle den nordiska elmixen kunnat användas då den klassas som en standard i Norden. Istället beräknades en ny elmix som tog hänsyn till Sveriges import av el. Den nordiska elmixen är mer än tre gånger så stor som den här. Det är inte angivet hur Energimyndigheten har resonerat när de kommit fram till att den nordiska på 100 g CO₂/kWh är den som borde användas. Därför valdes en egen viktad elmix eftersom användarna förmodas köra och ladda i Sverige. Ett medelvärde av importerad el från utlandet har lett till relevanta importsiffror som resulterat i den egna elmixen.

Bristen på pålitlig information var ett återkommande problem genom hela studien och ledde till att en hel del förenklingar har gjorts. En av de allra största förenklingarna var att alla olika bilmodeller skulle ha samma viktandel av stål och aluminium. Det här är inte speciellt troligt då många biltillverkare ökar andelen aluminium i moderna bilar för att göra bilarna lättare och därmed få lägre bränsleförbrukning. I den här studien har en bränslebil 51,92 % stål, och en elbil endast 47,81 % stål. Skillnaden i stål mellan de olika bilsorterna är relativt liten då bränslebilens förbränningsmotor är betydligt större än elbilens motor. Denna förenklingen har gjorts på grund av att det har varit brist på livscykelanalyser för bilarna som detta projektet hanterar.

9.2 Känslighetsanalys: koldioxidutsläpp

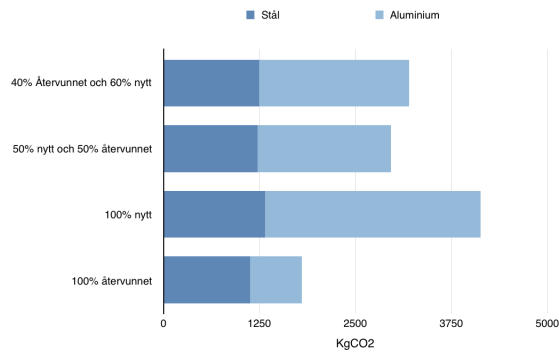
Då modellerna för koldioxidutsläpp bygger på flera antaganden så genomförs här en känslighetsanalys för att kontrollerna modellernas validitet och hur robusta de är. Vilka antaganden som har gjorts samt hur det eventuellt skulle kunnat göras annorlunda analyseras. Utöver det så har modellerna testats med andra värden än de som antagits i studien, exempelvis andra värden på elmixar under driftfasen för att se om modellerna är relevanta för användare utanför Norden. Huruvida modellerna är relevanta i framtiden är en intressant frågeställning, dock är den inte med inom den här studiens systemgränser.

Materialandel

En av de antaganden som har gjorts, och använts i beräkningarna, är den att alla bilar har samma viktandel av olika metaller. Det var ett nödvändigt antagande att göra för att överhuvudtaget få en färdig kalkyl, men den är uppenbart bristfällig. Ifall det funnits mer tid skulle en mer grundläggande studie över exakt materialsammansättning genomförts. Då bilarna i den här studien är indelade i olika bilklasser beroende på storlek, hade en alternativ väg varit att ta reda på materialandelar för varje klass. Det här hade gett en mer robust modell som hade byggts på mer än tjänstevikten.

Materialutvinning

För denna studien har det förutsatts att material är fördelad på sådant sätt att 40 % är återvunnet medan resterande 60 % är nytt. Denna fördelning återspeglar möjligtvis inte de olika bilmodellerna eller fordontyperna. I fallet att allt material hade varit nytt så innebär det här att koldioxidutsläppen skulle öka markant. Anledningen är att det krävs högre elförbrukning för att producera helt nytt material. Hur olika fördelningar mellan återvunnet och nytt material kan påverka koldioxidutsläppen vid tillverkningsstadiet för ett fordon visas det i figur 20.



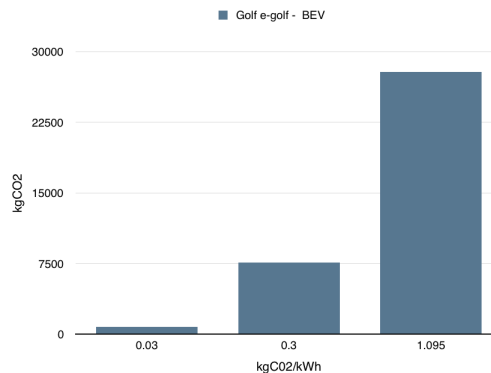
Figur 20: Utsläppskillnader mellan olika fördelningar av återvunnet och nytt material

Här syns det tydligt att det är aluminium som är det mest påverkande materialet för utsläppen vid produktionsstadiet. På grund av informationsbrist om hur den verkliga fördelningen mellan nytt och återvunnet material är mellan olika fordon är det svårt att få en bra uppskattning för produktionsfasens klimatpåverkan. Generellt sett utifrån denna studien så ligger dock dessa beräknade koldioxidutsläpp i ett intervall som överensstämmer med tidigare gjorda LCA-studier.

Variation av elmix

En elmix varierar från år till år och är beroende på var i världen konsumenten befinner sig. Det här innebär också att koldioxidutsläppen som uppkommer vid driften varierar beroende på var konsumenten använder bilen. Görs driftkalkyler på en VW E-Golf med den svenska uträknade elmixen, 0,03 kg CO₂/kWh, fås ett koldioxidutsläpp på 0,0038 kg CO₂ per kilometer. Görs sedan samma beräkningar fast med den europeiska elmixen, som ligger på ungefär 0,3 kg CO₂/kWh [28], blir resultatet 0,0381 kgCO₂ per kilometer. En bensindriven VW Golf som körs i Sverige har 0,1392 kg CO₂ per kilometer, se figur 21. Jämförs detta med koldioxidutsläppen från den europeiska elmixen så syns det att koldioxidutsläppen vid drift för en elbil i Europa är betydligt lägre än bränsle driven bil i Sverige. Dock är elbilens utsläpp i Europa högre än elbilen som körs i Sverige.

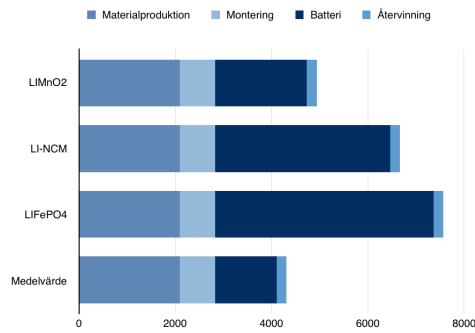
Det här leder till att den svenska elmixen kan öka upp till 1,095 kg koldioxid per kWh, vilket är en ökning på 3 650 %, innan en VW E-Golf körd i Sverige har högre koldioxidutsläpp per kilometer än en bensindriven VW Golf som körs i Sverige, förutsatt att WTW-värdet är detsamma.



Figur 21: Utsläppskillnader vid drift av en elbil med olika elmixar

Batteritillverkning

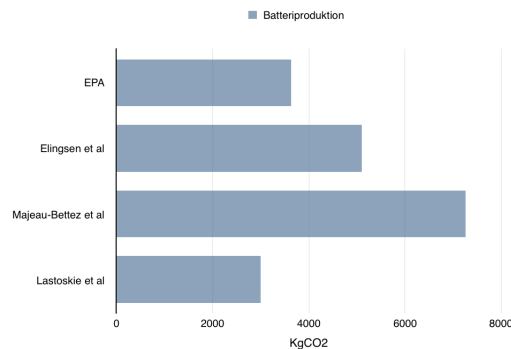
Batteritillverkningen är den största skillnaden i koldioxidutsläpp mellan en elbil och bränsle driven bil. Således är det viktigt att batteriproduktionens koldioxidutsläpp uppskattas på ett befogat sätt. En generell antagelse om vilken struktur ett batteri består av har skett i den här studien då koldioxidutsläppen för en specifik typ av katodmaterial varierar. Den här variationen representeras i figur 22.



Figur 22: Utsläppskillnader vid produktion av ett batteri med olika litiumjonmaterial [kg CO₂]

Valet av litiumjonmaterial hade antingen minskat eller ökat de totala koldioxidutsläppen vid batteriproduktion. Den här skillnaden i utsläpp mellan de olika batterikemierna blir även allt tydligare för högre batterikapacitet då klimatpåverkan av batteriproduktionen är direkt kopplat till batterikapacitet. För att få en bättre uppfattning på hur valet av litiumjonmaterial påverkar den totala klimatpåverkan för ett fordon representeras i figur 22 där en bilmodell med olika val litiumjonmaterial visas.

Dessa antaganden är endast baserade på information hämtad från EPA. Om alternativa källor för koldioxidutsläppen vid batteritillverkningen använts hade det resulterat i en förändring i klimatpåverkan. En skillnad mellan den angivna klimatpåverkan vid tillverkning av ett batteri med batterikemin Li-NCM har för olika källor illustreras i figur 37



Figur 23: Skillnader i koldioxidutsläpp för batteritillverkningen av 30 kWh batteri inhämtade från olika källor

Här syns det att valet av informationskälla har en avsevärd betydelse för klimatpåverkan vid batteritillverkningen. Samma skillnad i koldioxidutsläpp för andra batterikemier varierar mellan olika källor, vilket tydligt kan ses i Appendix 11.3.

Om informationen angående typ av batterikemi i de olika elbilarna hade varit tillgänglig, hade det medfört en noggrannare utsläppsberäkning av batteritillverkningen.

9.3 Ekonomi

De problem som identifierade i avsnitt 1.2.2 har nu lösts. Genom att sammanställa en modell för att beräkna total ägandekostnad, som dessutom anpassas efter individens körvanor och ekonomiska situation, minimeras den ekonomiska osäkerheten för en bilköpare. Modellen tar hänsyn till när i tiden kostnader uppkommer och kan därför presentera vad månadskostnaden blir för elbil, laddhybrid och bränslebil. Värdeinsparningens påverkan och omfattning tas även i beaktande av modellen.

Det inkrementella arbetssättet fungerade relativt bra. Det eftersom de olika delarna i modellen slutfördes i tur och ordning, istället för att lämnas halvfärdiga. Det blev dock ett litet problem i samband med kartläggningen av försäkringspremien som tillägnades mycket tid. Alternativet hade varit att ta fram information allt eftersom denna integrerades i gränssnittet. Då fokuset låg på modellerna snarare än webbsidan så fanns inte den möjligheten. Stora delar av rapportens modeller bygger på insamlad data från webbsidor och rapporter. En alternativ metod hade varit att ta mer hjälp av områdesexperter samt enkäter till bilanvändare.

De bilpriser som används i beräkningsmodellerna är hämtade från Skatteverket och enbart i standardutförande, ofta i det lägre prisskiktet. Det resulterade inte i någon större problematik eftersom det gäller samtliga bilmodeller och de är därför

jämförbara. Skatteverkets jämförpriser var enkla att hämta in, men för att täcka fler alternativ för utrustningsnivå hade en avsevärt mer utförlig datainsamling krävts. De el- och bränslepriser som identifierades under genomförandet är givetvis inte helt exakta då prisbilden ständigt förändras och var individ har sitt avtal. Då en bra studie som dessutom inkluderade en framtidsprognos erhöles fanns dock inget behov av att göra egna studier på området.

Mycket tid spenderades på att samla in information kring service och försäkring för att kunna få fram precisa modeller. Dessvärre visade det sig mycket svårt att hitta generella formler för dessa kostnadsposter. Istället fick förenklingar göras och mycket tid som spenderades på dessa delar gick förlorad. Dessa två delprocesser agerade bromsklossar i genomförandet och mycket av tiden som spenderades var förgäves.

Däck har varit en problematisk del av studien då däckförsäljningen är utbredd med många tillverkare, sorter och återförsäljare. Trots att däck är något som alla har på sina bilar så kan kostnaderna variera mycket, och det har som i andra fall hittats ett medelpris som ska försöka täcka in hela spektrumet. En studie på hur stor andel av alla bilägare som förvarar sina däck på däckhotell hade hjälpt till att stärka antagandet. Externa organisationer kontaktades för att få reda på mer generella siffror kring däckutgifter men detta ledde inte fram till något resultat. Det här ledde till att ett generallt antagande behövde användas. Tvätt och vård har som många andra kostnader tagits fram genom ett snitt. Det är billigare att tvätta bilen hemma, men priserna som räknats med har även varit miljöinriktade, då det är bättre för miljön att tvätta bilen på ställen med vattenfilter. Antal tvättimmar per år skilja sig drastiskt mellan olika individer och orsaka en större divergens, vilken ökar ju fler år som räknas med i ägandehorisonten. Kostnadspunkten är överlag ganska generell och gränssnittet skulle kunna vidareutvecklas för att användaren själv ska kunna välja hur mycket den spenderar.

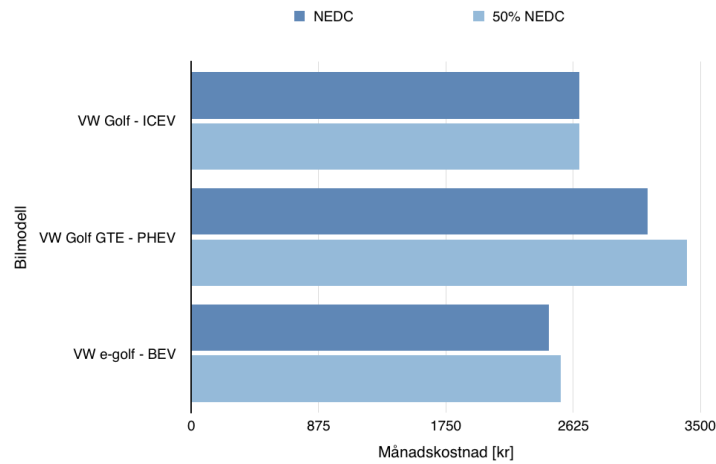
Priser för att införskaffa och installera en laddstation var något som inkluderades i genomförandet. Ett pris identifierades genom ett medelvärde. Denna utgift inkluderas dock inte i beräkningsmodellen och är en tydlig punkt att fortsatt utreda med syftet att vidare överbrygga informationsgapet. En annan eventuell utvidgning av studien hade kunnat inkludera leasing för att relatera denna ägandekostnad mot den nuvarande modellens. Det skulle dock kunna vara lite mer problematiskt att utreda eftersom avtal från olika tillverkare kan ha varierande innehåll. Hade det tagits inom projektets ramar hade det dock givit Elbilsguidens användare fler alternativ av finansiering. Även en längre ägandeperiod hade kunnat tas i beaktande. En sådan utveckling skulle i så fall krävt en längre prognos för många kostnadsposter. Det hade förmodligen varit lite problematiskt eftersom det finns mindre information om elbilar i allmänhet och deras batterier i synnerhet. Utöver det är restvärde och ränteläge mycket svåra att prognostisera långt fram i tiden. Utöver det hade det varit intressant att göra en djupare studie om batteriets livslängd och kostnaderna för bytet av ett sådant men på grund av antagandet att batteriet inte förväntas behövas bytas ut inom de första tio åren gjordes inte detta. Istället kan framtida forskning undersöka denna kostnadspunkt närmare.

9.3.1 Känslighetsanalys: ekonomi

Den resulterade beräkningsmodellen för ekonomisk påverkan bygger på flertalet antaganden. Om dessa antaganden är felaktiga kan modellens utdata förändras drastiskt. För att undersöka modellens känslighet för sådana avvikelser har två känslighetsanalyser genomförts. Först undersöks batteriernas räckvidd och därefter bilarnas restvärdeutveckling. Dessa parametrar har valts på grund av deras påverkan på individens investeringsbeslut här och nu. Ytterligare analyser så som framtida utveckling av nybilspriser och energieffektivitet innebär förvisso en intressant diskussion kring samhället och modellernas framtidssäkerhet men påverkar inte den ekonomiska effekter för individen som besöker Elbilsguiden.com år 2017.

Räckvidd

Det finns delade meningar kring de testcykler som NEDC använder för att mäta en elbils räckvidd. För att undersöka dessa siffrors påverkan på månadskostnaden har NEDC räckviddssiffror halverats. Det innebär även att elförbrukningen per kilometer dubblas eftersom batteriets storlek hålls konstant. I figur 24 visas hur månadskostnaden för de tre Golf-bilarna påverkas av den halverade räckvidden.



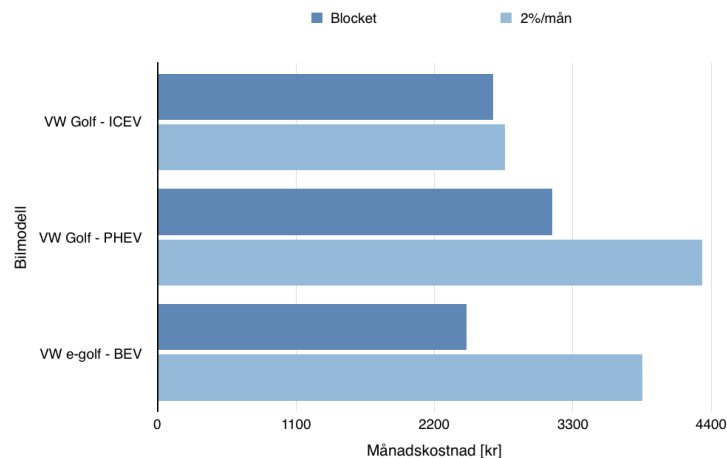
Figur 24: Månadskostnad vid förändrad räckvidd

Den interna rangordningen bibehålls även efter att räckvidden halveras. E-Golfen är fortfarande billigast och Golf GTE dyrast. Viktigt att nämna i sammanhanget är att E-Golfens nya räckvidd blir 95 km och klarar därmed av den dagliga sträckan på 50 km med marginal. Motsvarande siffra för Golf GTE blir 25 km vilket medför att laddhybriden får köra en sträcka på bensin.

Överlag är påverkan av denna faktor inte drastisk på den ekonomiska kalkylen. Elbil blir lite dyrare men fortfarande billigare än bensinbilen. Istället är det de praktiska faktorerna som förändras mer av en minskad räckvidd. Det eftersom en användare som kör längre sträckor inte kan välja viss bilmodell.

Restvärde

Den analys av bilars restvärde som de ekonomiska kalkylerna bygger på utfördes internt och därav kan det vara intressant att veta hur externa siffror skulle påverka utfallet. Den siffra på 2 % månatlig värdeminskning, från amerikanska NADA, som presenterades i del 6.2.1 används därför för att undersöka detta. I figur 25 kan skillnaden i månadskostnad för de båda restvärdeskalkylerna observeras.



Figur 25: Månadskostnad vid förändrat restvärde

I fallet med 2 % månatlig värdeminskning blir bensinbilen nu billigare än elbilen och hybridbilen blir ännu dyrare. I NADA:s värdeminskningmodell har samtliga biltyper ett restvärde på 48 % efter tre år vilket påvisar att den interna modellen är relativt optimistisk. Den interna analysen föreslår istället ett restvärde på 66 % för Golf, 61 % för Golf GTE och 62 % för E-Golf. Den betydande skillnaden i restvärde leder till att finansieringskostnaden, i synnerhet för elbilen och laddhybriden, ökar rejält eftersom amorteringskravet blir större. Då kontantinsatsen i den här jämförelsen är absolut slår det hårdare på miljöbilarna som är dyrare och måste amortera en betydligt större andel av priset. Med andra ord påverkar restvärdeskalkylen

det ekonomiska resultatet mer än vad räckvidden gör. Därför bör framtida studier fokusera på att utreda området utförligare. Viktigt att beakta är även att en framtida utjämning av pris mellan elbil och bensinbil hade minskat påverkan av denna faktor kraftigt.

9.4 Gränssnitt

De problem som identifierades i stycke 1.2.3 jobbades aktivt mot att lösa under projektets gång. I och med att webbsidan nu existerar har informationsgapet överbyggt då information om elbilsinvesteringar nu finns tillgänglig på internet. I Elbilsguiden finns frågor som är relativt enkla att besvara och tillräckligt precisa för att ge en uppskattning kring vilken bilmodell som passar individens behov. Frågorna är inte perfekta och kan utvecklas till att bli tydligare. Beräkningsmodellernas resultat visas upp på ett korrekt sätt på webbsidan. Både frågorna och resultaten skulle kunna presenteras på ett visuellt mer tilltalande sätt för att bland annat förtydliga skillnaderna mellan elbilar och bränslebilar.

Projektets metodik kan delas i två. Arbetet med designen fungerade måttligt. Kontakten med experter visade på att ambitionsnivån från båda håll var för stor för projektets tidsram. Detta gjorde det svårt att konkretisera nyckelaktiviteter som kunde omfattas inom projektet. När det sedan visade sig att utkontraktering av implementationen inte var ett alternativ blev problemen än tydligare. En alternativ lösning till möten med experter kunde varit att kolla på snarlika webbtjänster inom andra branscher och hur dessa möter problemen.

Ett alternativt sätt att bemöta denna uppgift på hade varit att börja med att göra enkäter eller intervju elbilsanvändare, elbilsförsäljare och prospekterande elbilsköpare för att bedöma vad som skulle fokuseras på. Det här valdes bort då det förmodades ta för mycket tid från själva informationssökningen och innebära ett sämre resultat, då det tar tid att ställa upp och utforma passande och lättolkade frågor. Nu blev det istället en studie som utgick ifrån egna erfarenheter och på den korta tiden insamlad kunskap. Det är svårt att föreställa sig hur arbetet hade blivit om det hade påbörjats med en användarundersökning, men det hade antagligen sett lite annorlunda ut. Ifall fokus hade varit på att skapa en fullt fungerande hemsida i form av en Elbilsguide hade en användarundersökning varit en bra väg att gå. Då hade eventuella önskemål och preferenser från användarna kommit fram tidigt och utvecklingen av tjänsten hade möjligtvis tagit en annan riktning. Exempelvis vilka fordonspreferenser och hur de föreslagna bilmodellerna ska visas är data som varit värdefullt att få från konsumenter.

Arbetet med implementation fungerade desto bättre. De agila metoderna som genomsyrade processen passade perfekt för den korta tidshorisonten, då funktionella prototyper av webbsidan var i drift nästan direkt. På så sätt och tack vare versionhanteringen fanns gränssnittet tillgängligt, om än i avskalad form, även under utvecklingsfasen. Denna kunde när som helst kunde avslutas om resten av projektet krävde mer fokus i slutskedet. Därför skedde utvecklingsarbetet utan någon stress, vilket skapade en bra psykosocial arbetsmiljö. Självlinäringsprocessen fungerade problemfritt då nödvändig kunskap kunde inhämtas genom internetbaserade källor. Gruppens förkunskaper inom området gjorde det smärtfritt att hitta relevant information och med mindre förkunskaper hade denna process varit avsevärt tyngre. Därför är det inte säkert att självlinärning är den mest lämpliga metoden i liknande sammanhang. Hela implementationsarbetet hade alternativt kunnat utkontrakteras vilket hade lämnat mer tid över för övriga delar av projektet och resulterat i en mer högkvalitativ webbsida.

En stor del av motgångarna i processen för att lösa de gränssnittsrelaterade problemen kan hänföras till de snabba riktighetsförändringar som uppstod. Designen för gränssnittet togs först fram med extern implementation som utgångspunkt. När det blev klart att arbetet skulle utföras internt var den då färdigställda designen inte anpassad till gruppens kompetensnivå. Mycket av tiden som spenderats på designprocessen resulterade inte i tänkt avkastning vilket innebar att den gick förlorad. Med intern utveckling som utgångspunkt hade designarbetet istället kunnat göras agilt parallellt med programmeringen för att undvika överplanering.

I utvecklingsfasen av genomförandet uppstod visserligen problem med programmeringen, men felsökning är en naturlig del av mjukvaruutveckling i allmänhet och agil utveckling i synnerhet. Fel som upptäcktes under testningen löstes utan att kännas oöverkomliga. De alternativa programmeringsspråk och ramverk som fanns tillgängliga att välja på kunde ha valts istället, inget i den färdiga produkten är exklusivt för Django eller Python. Hade implementationen gjorts på nytt hade dessa valts igen för ändamålet.

Den leverabel som slutligen presenterades använder beräkningsmodellerna på ett korrekt sätt och fungerar utan problem. Att sidan skulle räkna rätt var ett medvetet fokusområde för att kunna nyttja dess funktionalitet i samband med resterande delar av projektet. Valet av angreppssätt gjorde att grafiskt utseende hamnade i andra hand och därför ännu inte uppnått den ambitiösa vision som antogs i designfasen. Viktigt att nämna kring det agila synsättet är att en webbsida inte är en monolit och alltid kan utvecklas vidare. Det gäller även för Elbilsguiden som är anpassningsbar både designmässigt och gällande beräkningsmodeller. Därav är sidan framtidssäkrad i termer av ändrade användarpreferenser, kostnader och regler.

Övergripande sett har det agila synsättet fungerat bra för gruppen trots ändrade förutsättningar och oklarheter. Den klassiska problematiken kring tidsestimering var minimal då en av de fundamentala delarna i den applicerade metodiken är att inte överplanera. Filosofier från denna arbetsgång kommer definitivt att återanvändas i framtida projekt. Dessutom fick gruppen insyn i hur webbutveckling fungerar och en bollplank att testa beräkningsmodellerna mot löpande i arbetet.

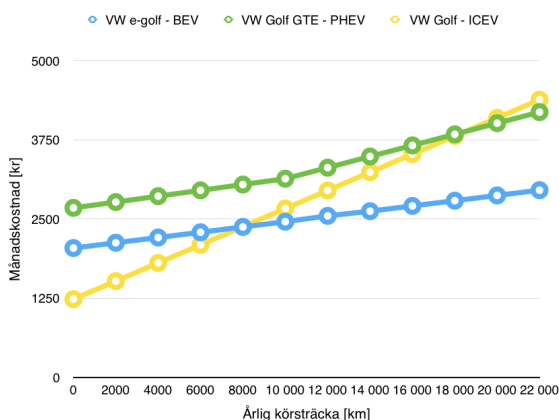
9.5 Brytpunkter och lönsamhetsanalys

Som belyst i syfte och problemformulering, är elbilar idag en större investering både ekonomiskt och klimatmässigt jämfört med motsvarande bränslebil. Det är under driften som elbilen blir mer lönsam både klimatmässigt och ekonomisk, vilket uppmärksammas i avsnitt 8. Därav är det intressant att analysera och diskutera jämviktspunkterna för dessa två faktorer. Med andra ord, när elbilen blir det mer lönsamma alternativet ur ett ekonomiskt och klimatmässigt perspektiv. I denna analys används tre bilmodeller av varsin biltyp. Det handlar om Volkswagen Golf, E-Golf och laddhybriden Golf GTE. Som standard antas kontantinsatsen till 100 000 kronor och den årliga körsträckan till 15 000 km, samt ägandehorisonten till tre år. Körsträckan antas vara fördelad över 40 veckor á fem dagar. De ingående faktorerna: körsträcka, ägandehorisont samt kontantinsatsen, varierar en i taget för att hitta brytpunkter samt för att diskutera skillnader, orsaker och hur investeringsbeslutet påverkas.

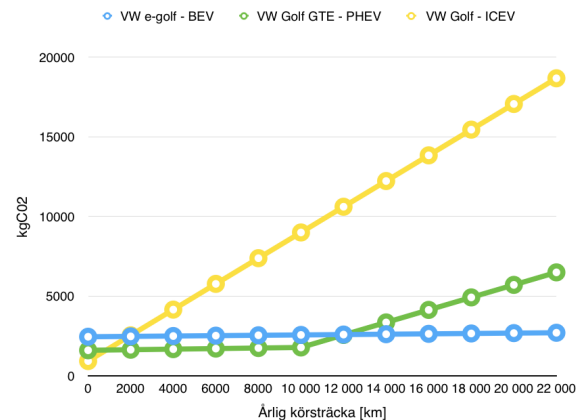
Körsträcka

Hur långt en privatperson måste köra för att en elbil ska vara en lönsam investering både klimatmässigt som ekonomiskt är en relevant fråga som belyses i figurerna 26 och 27. Här är det möjligt att se hur klimatpåverkan förhåller sig till årlig körsträcka för de tre modellbilarna, i figuren till vänster, samt hur månadskostnaden förhåller sig till den årliga körsträckan. Vid korta sträckor är den bränsle drivna Golfen bäst rent utsläppsmässigt då både hybridbilen och elbilen har högre tillverkningskostnader än bränsle bilen. GTE golfen blir bättre vid ungefär 1 000 km per år, vilket kan ses i figur 26. Den här sträckan motsvarar ungefär 5 km dagligen, vilket är betydligt kortare än vad de flesta pendlare antas köra varje dag. Vid en årlig körsträcka på 2 000 km blir elbilen bättre än bränsle bilen, men hybridbilen är fortfarande bäst rent utsläppsmässigt vid relativt låga körsträckor då körningen endast sker på elektricitet. Det är först vid 12 000 km som hybridbilen har högre koldioxidutsläpp än elbilen. Det är värt att notera att det här är årliga körsträckor och därför ett medelvärde av körd sträcka varje dag under de speciella förutsättningarna som presenterades ovan. Det här ger en årlig sträcka på 10 000 km innan hybridbilen måste gå över till att använda bränsle istället.

Den bränsle drivna Golfen har lägst månadskostnad vid kortare körsträckor, som är visualiserat i figur 27. Först vid 8 000 km blir elbilen billigare, och den fortsätter sedan att vara billigast oavsett körsträcka. Vid ungefär 19 000 km, 95 km dagligen, årlig körning blir hybridbilen billigare. Notera att hybridens kostnad ökar snabbare vid ungefär 10 000 km eftersom bränsle driften då börjar användas.



Figur 26: Månadskostnad vid olika årliga körsträckor



Figur 27: Totalt koldioxidutsläpp vid olika årliga körsträckor

För de flesta körvanorna har hybridbilen lägre koldioxidutsläpp, dock är den också dyrast i månadskostnad upp till i allafall 18 000 km årlig körsträcka. I praktiken innebär detta att en privatperson kan välja att spendera lite mer för en hybridbil för att få nyttja de praktiska fördelarna utan att klimatpåverkan sticker iväg markant. Utvecklingen visar på att hybridens aldrig kommer att bli dyrare eller ha en större klimatpåverkan än bensinbilen efter en viss brytpunkt. Bränsle bilen är billigast upp

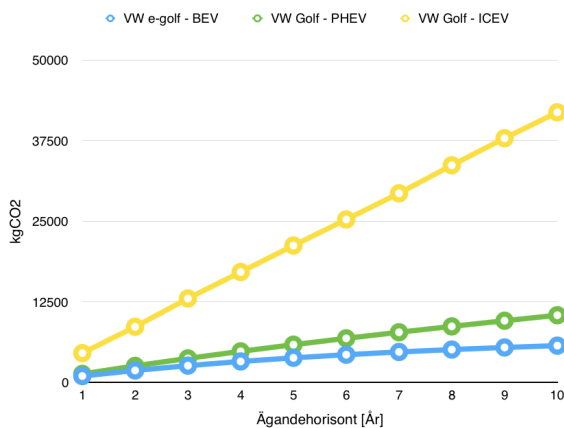
till en viss körsträcka då elbilens billiga driftkostnader ger utslag. Vid mycket korta sträckor är bensinbilen både billigare och har en mindre klimatpåverkan. Vid all körning över en viss sträcka är elbilen både billigast och har lägst koldioxidutsläpp. Däremot kommer bilens maximala räckvidd eventuellt att nås ganska snart därpå, vilket förkortar perioden under vilken elbilen är det bästa valet.

Ägandehorisont

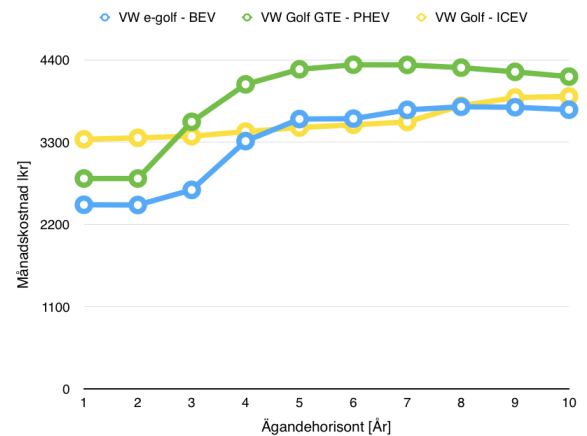
Hur koldioxidutsläpp samt månadskostnad varierar med ägande horisont är visualiserat i figurerna 28 och 29. Vid den relativt korta körsträckan varje dag, 75 km varje dag, är hybridbilen och elbilen lika i utsläpp. Redan efter ett år den bränsle drivna Golfens totala utsläpp tre gånger större än E-golfens. Gapet utvidgas ytterligare därefter. Elbilen och hybridbilen relativt lika varandra utsläppsmässigt. Hybridbilen har genom alla ägande år något högre koldioxidutsläpp. Det här för att den antagna dagliga körsträckan passerar räckvidden för dess batteri och den måste därför köra en viss sträcka per dag på förbränningsmotorn.

En större värde minskning för med sig mer amortering vilket höjer den månatliga finanskostnaden. Samtidigt fördelas amorteringen över en längre period, vilket också påverkar finansieringskostnaden. Strax efter två års ägandehorisont blir hybridbilen dyrare än bensinbilen, samma jämvikt uppnås för elbilen strax efter tre års horisont.

Eftersom inga brytpunkter finns med i utsläppsgrafan blir beslutet för individen enbart baserat på hur mycket värde i kronor det finns i att vara mer klimatvänlig. Exempelvis vid fem år är golfens utsläpp nästan fyra gånger större än e-golfens, men månadskostnaden är enbart 23 % eller dryga 600 kronor högre. Om praktiska aspekter gör att en hybrid hellre väljs är samma skillnader 5,6 gånger respektive 38 % eller 1 000 kronor.



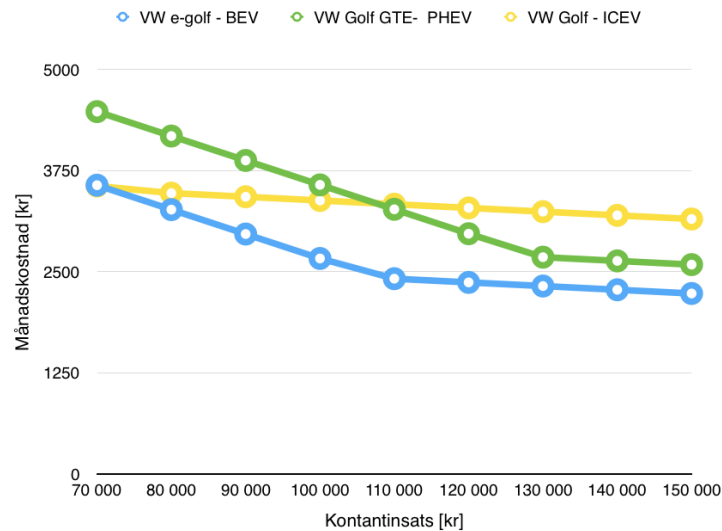
Figur 28: Totalt koldioxidutsläpp för olika ägandehorisonter



Figur 29: Månadskostnad för olika ägandehorisonter

Finansiering

Hur månadskostnaden varierar beroende på kontantinsatsen för att äga olika biltyper visualiseras i figur 30 för att illustrera lånekostnadens vikt. Daglig körsträcka antas fortfarande vara 75 km samt en ägandehorisont på tre år. Om brytpunkten inte är nådd när amorteringsbeloppet går till noll då kommer de aldrig att skära varandra och i det fallet kommer aldrig elbilen vara billigare än bränslebilen. Det här sker inte i det här fallet då bilarnas månadskostnader från start inte var stora. Proportionerna mellan biltyperna stabiliseras vid 130 000 kr.



Figur 30: Månadskostnad för olika kontantinsatser

9.5.1 Fallstudier

För att testa beräkningsmodellernas resultat ur mer konkreta perspektiv presenteras nedan ett antal fallstudier. För varje scenario presenteras en rekommendation från Elbilsguidens bildatabas. Den mest ekonomiskt lönsamma elbilen, laddhybriden och bensinbilen returneras och rangordnas efter månadskostnad. För varje alternativ presenteras deras månadskostnad och klimatpåverkan. I varje fallstudie varierar kontantinsats, segment, daglig körsträcka samt ägandehorisont men antal pendlingsdagar hålls konstant. Personerna antas köra sträckan fem dagar i veckan, 40 veckor om året. Därefter diskuteras resultaten samt hur dessa kan påverka individens resultat.

Fallstudie 1: Långpendlare

I den första fallstudien undersöks en person som pendlar 150 km dagligen, vilket motsvarar 30 000 km per år. Vederbörande söker en smidig bil i klass C-J för att kunna åka den längre sträckan till jobbet. Då långpendlaren spenderar relativt mycket tid i sin bil vill personen i fråga inte att den skall vara modern, ägandehorisonten är därav tre år.

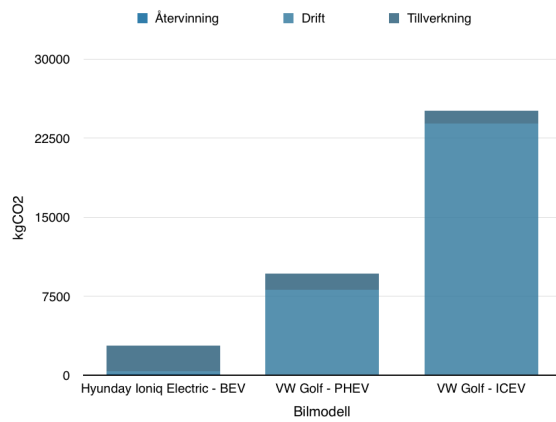
Tabell 16: Rekommenderade bilmodeller i fallstudie 1

Bilmodell	Månadskostnad [kr]	Koldioxidutsläpp [kgCO ₂]	Inköpspris [kr]	Restvärde [kr]
Hyundai Ioniq Electric - BEV	1875	2830	371 900	231 510
VW Golf GTE - PHEV	2943	9635	379 500	229 948
VW Golf - ICEV	5066	25 129	201 000	118 244

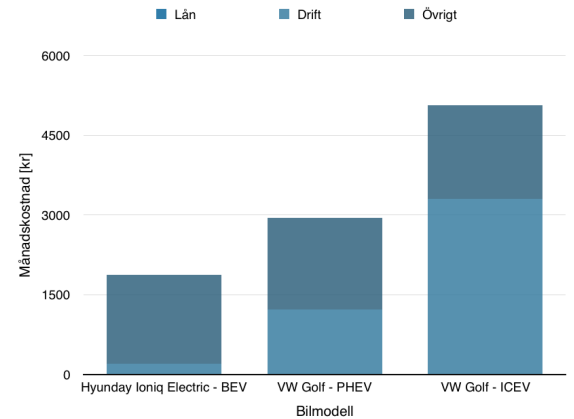
I tabell 16 syns att elbilen Hyundai Ioniq rekommenderas. Näst bäst är laddhybriden Volkswagen Golf GTE med en räckvidd på 50 km och den billigaste bensinbilen är Volkswagen Golf. Observeras kan även att samma rangordning av biltyperna gäller även för klimatpåverkan.

Då bensindriften är avsevärt dyrare än eldriften påverkas givetvis bensinbilen mer av den långa pendlingssträckan, vilket gör Volkswagen Golf betydligt dyrare än sin motsvarande laddhybrid men framför allt i jämförelse med Ioniq. Även klimatpåverkan är betydligt större från bensindriften än hos miljöbilarna.

Den höga kontantinsatsen i fallstudien är en annan sak som blir till gagn för elbilens och laddhybridens relativt låga månadskostnad. Det eftersom inget lån behövs för att finansiera köpet, en faktor som annars kan spela in. I detta case hade dock kontantinsatsen kunnat sänkas rejält utan att bilen hade petats som billigast. Samtidigt hade pendlaren kunnat göra andra investeringar för sina pengar om Golfen med sitt billigare inköpspris hade valts.



Figur 31: Fördelning av koldioxidutsläpp för fallstudie 1



Figur 32: Fördelning av kostnader för fallstudie 1

Då den dagliga körsträckan är lång tvingas laddhybriden att köra en lång sträcka på bränsledrift. Om laddning under dagen, förslagsvis på jobbet, var möjligt hade driftskostnaden kunnat nästan halveras. Samma sak gäller även för de driftsrelaterade utsläppen. I samma kontext kan nämnas att elbilen som rekommenderas inte är i närheten av att maximera sin räckvidd på 280 km. Den kan nästan halveras utan att det påverkar möjligheten att kunna åka till jobbet. Både elbilen och hybridbilen är flexibla alternativ i det här fallet. Skulle resterande batterikapacitet utnyttjas för elbilen några dagar på året skulle det inte påverka ekonomi eller klimatpåverkan nämnvärt. Om pendlaren ändå har räckviddsrelaterad oro, finns möjligheten här att spendera ungefär 1 000 kr mer i månaden för friheten hos hybridbilen.

Fallstudie 2: Pensionärspar

I den andra fallstudien visualiseras ett pensionärspar som enbart kör 10 km dagligen. De åker till affären, utträttar några ärenden i närområdet men inte mycket mer. De är dock ute efter en billig bil, oavsett segment, som de tänker äga under 10 år. Då de inte har mycket kapital är kontantinsatsen 50 000 kr.

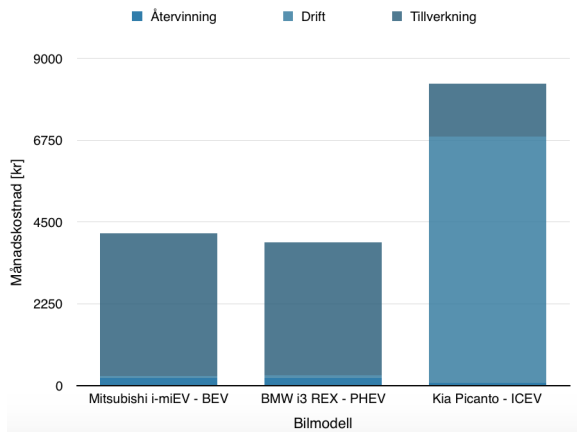
Tabell 17: Rekommenderade bilmodeller i fallstudie 2

Bilmodell	Månadskostnad [kr]	Koldioxidutsläpp [kgCO2]	Inköpspris [kr]	Restvärde [kr]
Kia Picanto - ICEV	1612	8303	99 900	31 661
Mitsubishi i-MiEV - BEV	2410	4193	259 900	53 533
BMW i3 REX - PHEV	3826	3950	375 900	70 762

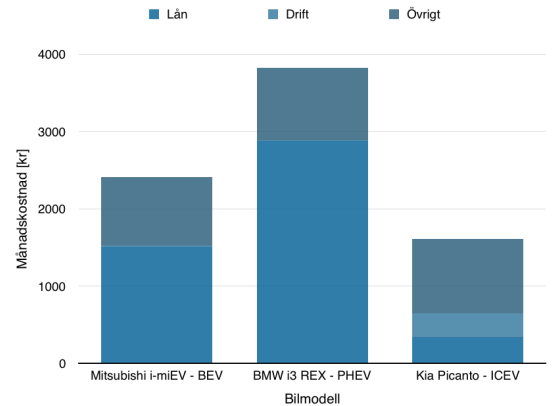
Den bil som rekommenderas till pensionärsparet är bensinbilen Kia Picanto. Bästa elbil är Mitsubishi i-MiEV och bästa laddhybrid är BMW i3 REX. Den billiga Picanton har dock betydligt högre utsläpp än de andra medan BMW i3 påvisar omvänt samband.

Månadskostnaden för de två miljöbilarna domineras av lånekostnader. Inköpspriset är avsevärt mycket högre vilket kombinerat med en relativt låg kontantinsats gör att ett stort lån måste tas ut och därefter amorteras. En större kontantinsats hade kunnat påverka rekommendationen, men för att elbilen ska få en lägre månadskostnad krävs mer än en tredubbling av insatsen vilket är en påtaglig summa i sammanhanget. Miljöbilars lägre driftkostnad har väldigt liten påverkan då den dagliga körsträckan är kort. Picanton har en tredjedel av utsläppen under tillverkningen men driftutsläppen är mycket höga trots den korta körsträckan. Det resulterar i att de totala utsläppen för bensinbilen ändå är två gånger högre jämfört med elbilen.

Tittar man på klimatpåverkan ser man att den är dubbelt så stor för Kia Picanto i jämförelse med elbilen men månadskostnaden är inte dubbelt så stor. Vill vederbörande göra en insats för miljön kan det vara viktigt att beakta. Laddhybriden har ungefär samma klimatpåverkan som elbilen men är betydligt dyrare. Därav bör i-MiEV vara det självklara valet om användaren ska satsa på någon form av eldrivet fordon. Den begränsade räckvidden, på 160 km, är inte heller i närheten av att utnyttjas



Figur 33: Fördelning av koldioxidutsläpp för fallstudie 2



Figur 34: Fördelning av kostnader för fallstudie 2

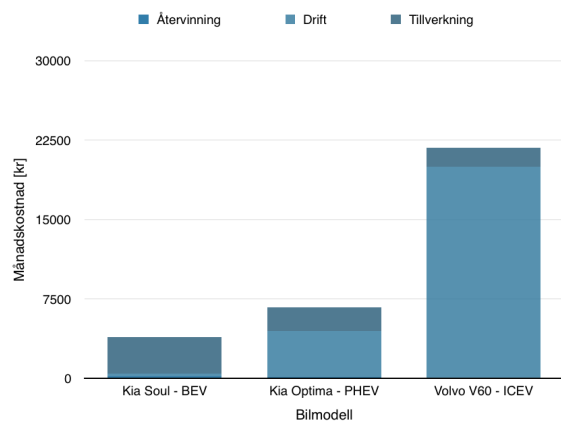
fullt ut då korta sträckor körs av pensionärsparet. Därför finns det även marginal för att eventuellt öka den dagliga sträckan och nyttja den billiga driften. På så sätt skulle skillnaden i månadskostnad mot Picanto även minska.

Fallstudie 3: Barnfamilj

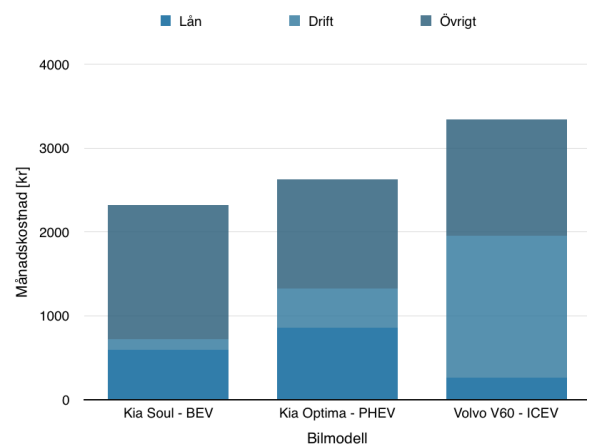
I den tredje fallstudien undersöks ett scenario för en typisk barnfamilj. De behöver en lite större bil som rymmer alla familjemedlemmar, därav är endast segment D, E, J och M aktuella. Den dagliga sträckan är 75 km och familjen brukar byta bil var femte år. Familjen planerar att spendera 200 000 kr i kontantinsats på bilen. Bilen som rekommenderas är elbilen Kia Soul, bästa hybrid är Optima av samma tillverkare och bensinbilen med lägst månadskostnad är Volvo V60.

Tabell 18: Rekommenderade bilmodeller i fallstudie 3

Bilmodell	Månadskostnad [kr]	Koldioxidutsläpp [kgCO2]	Inköpspris [kr]	Restvärde [kr]
Kia Soul - BEV	2325	3921	369 900	167 877
Kia Optima - PHEV	2627	6725	394 900	171 337
Volvo V60 - ICEV	3346	21 762	257 000	143 914



Figur 35: Fördelning av koldioxidutsläpp för fallstudie 3



Figur 36: Fördelning av kostnader för fallstudie 3

Trots att Volvon har lägst lånekostnader blir den ändå dyrast på grund av de höga driftkostnaderna. Kia Soul blir billigare än Optima huvudsakligen på grund av de lägre finansieringskostnaderna som hänförs till att den sistnämndas högre inköpspris. Trots att elbilen hade de högsta tillverkningsutsläppen blir de totala utsläppen hälften så stora som för Optima.

Utsläppsnivån för Volvon är dock betydligt högre än för de båda miljöbilarna. Därav bör familjen välja bort Volvon då den inte är konkurrenskraftig för deras behov.

Familjens dagliga körning påverkas inte av ett byte till elbil då Kia Soul har en räckvidd på 212 km. Laddhybriden kan köra upp till 54 km på eldrift vilket innebär att om bilen kan laddas under dagen kan både driftkostnader och driftutsläpp minskas drastiskt. Om den dagliga bensindriften försvinner minskar månadskostnaden till samma nivå som för elbilen. Därav kan familjen åtnjuta fördelarna av obegränsad räckvidd utan nackdelarna med högre kostnad och utsläpp. Familjen kan åka på semester utan problem samtidigt som den dagliga körningen sker helt på el.

10 Slutsats

Den framtagna utsläppsmodellen är till största del robust. Kring tillverkningen av elbilsbatterier finns större avvikelser och där krävs vidare forskning. Överlag är modellens antaganden i linje med andra studier som gjorts och resultaten är därmed också lika resultaten från tidigare studier. När det kommer till beräkningsmodellen för ägandekostnaden är även den robust, om än generell. Kring restvärdesutvecklingen finns en osäkerhet som behöver utredas vidare. Det internt utvecklade gränssnittet är fullt funktionellt och har använts under projektets gång för analys. Den kan utvecklas vidare för att ytterligare anpassas till individuella egenskaper hos användaren.

Genom studien och webbtjänsten kan en konsument få en bättre uppfattning om hur de många komplexa besluten kring ett bilköp påverkar varandra. De presenterade fallstudierna där behov och vanor kartläggs visar att det är tydligt att en elbil inte är det bästa i samtliga fall rent koldioxidutsläppsmässigt eller ekonomiskt. Om en privatperson inte kör mer än ett par kilometer varje dag är en elbil en ogynnsam investering, både ekonomiskt och utsläppsmässigt. En person som använder sin bil mycket däremot kan med fördel investera i en elbil. Individer som värdesätter flexibiliteten av eldrift vid kortare pendling och räckvidden för längre bilresor kan däremot välja en laddhybrid.

Syftet med projektet var att ta fram valida modeller som kunde främja och guida en privatperson inför ett nybilsköp, samt att kommunicera dessa modeller till en slutanvändare genom ett gränssnitt. Detta kan nu uppnås med hjälp av modellerna och webbsidan. På grund av de många antaganden som har gjorts genom studiens gång är modellerna som har tagits fram långt ifrån perfekta, men ett stort steg har tagits i rätt riktning för att främja privatpersoner som överväger ett elbilsköp.

Referenser

- [1] Energimyndigheten. El och fjärrvärme.
- [2] C. Bauer, J. Hofer, H-J. Althaus, A. Del Duce och A. Simons. The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life cycle assessment based on a novel scenario analysis framework. *Applied Energy*, 157:871–883, February 2015.
- [3] J. Nerén. *Automobilens historia*. Motor-Byråns Förlag, 1937.
- [4] D. Wang et al. Life cycle analysis of internal combustion engine, electric and fuel cell vehicles for china. ss 402–412, September 2013.
- [5] T. R. Anderson, E. Hawkins och P.D. Jones. CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of arrhenius and callendar to today’s earth system models. 40(178-187):402–412, September 2016.
- [6] Transportstyrelsen. Vanliga frågor till transportstyrelsen. [Online] Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/kontakta-oss/Vanliga-fragor-till-Transportstyrelsen/Supermiljobilspremie/>. [Online; Hämtad: 3 Februari, 2017].
- [7] S. Hurtig. Fler elbilar på vägarna. [Online] Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/ladda-elbilen/fakta-elbilar/fler-elbilar-pa-vagarna>. [Hämtad: 30 Januari, 2017].
- [8] Teknikens Värld. Vi räknar: Är elbilen ett ekonomiskt alternativ till bensin- eller dieselbilen? [Online] Tillgänglig: <http://teknikensvarld.se/vi-raknar-ar-elbilen-ett-ekonomiskt-alternativ-till-bensin-eller-dieselbilen-117101/>. [Hämtad: 3 Februari, 2017].
- [9] T.P Narins. The battery business: Lithium availability and the growth of the global electric car industry. ss 1–8, Juni 2016.
- [10] S. Tidblad Lundmark, M. Alatalo, T. Thiringer, E. Arfa Grunditz och B-E. Mellander. Fordonskomponenter och konfigurationer. *Perspektiv på eldrivna fordon 2014*, ss 10–11, 2014.
- [11] Alternative Fuels Data Center. Fuels vehicles. [Online] Tillgänglig: <http://www.afdc.energy.gov/>, 2017. [Hämtad: 02 April, 2017].
- [12] A. Nördelöf och A-M. Tillman. Mindre miljöpåverkan eller bara annorlunda? *Perspektiv på eldrivna fordon 2014*, ss 16–17, 2014.
- [13] H. Baumann och A. Tillman. *The Hitchhiker’s Guide to LCA*. Studentlitteratur, 2009.
- [14] ISO 14040. International standard. *Environmental management-life cycle assessment-principles and framework*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [15] United States Environmental Protection Agency. Application of lifecycle assessment to nanoscale technology: Lithium-ion batteries for electric vehicles.
- [16] L. M. Ellram. Total cost of ownership - an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution Logistics Management*, 25(8), Maj 1995.
- [17] J. Hagman, S. Ritzén, J. Janhager Stier och Y. Susilo. Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion. November 2016.
- [18] B. Propfe, M. Redelbach, D. J. Santini och H. Friedrich. Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles including maintenance repair costs and resale values. ss 3–4, Maj 2012.
- [19] M. Le Duc. Metodhandbok som tankekarta. [Online] Tillgänglig: <http://www.leduc.se/metod/Induktion,deduktionochabduktion.html>, 2017. [Hämtad: 01 April, 2017].
- [20] M. S. Saccucci, M. Romm, K. Newsom-Stewart och M. C. Hazel. A comparison of consumer reports’ passenger vehicle average mpg estimates with those reported by the epa and survey respondents. *Consumer Reports*, November 2016.
- [21] the international council of clean transportation. Gap between reported and actual fuel economy higher than ever before. [Online] Tillgänglig: <http://theicct.org/news/press-release-gap-between-reported-and-actual-fuel-economy-higher-ever>. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [22] United nations. Addendum 100: Regulation no. 101. [Online] Tillgänglig: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R101r3e.pdf>, April 2013. [Hämtad: 10 Maj, 2017].

- [23] A. Nordelöf et.al. Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *Int J Life Cycle Assess*, 19:1866–1890, Juli 2014.
- [24] Zamel B och Li X. Life cycle analysis of vehicles powered by a fuel cell and by internal combustion engine for canada, journal =.
- [25] T. Mendes Henriques. Life cycle assessment of the hybrid vehicle - toyota prius. s 19, September 2013.
- [26] John Sullivan och Michael Q. Wang Jennifer B. Dunn, Linda Gaines. *Impact of Recycling on Cradle-to-Gate Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Automotive Lithium-Ion Batteries*, s 1270412710, 2012.
- [27] K. Hillman, A. Damgaard, O. Eriksson, D. Jonsson och L. Fluck. Climate benefits of material recycling. s 10, October 2015.
- [28] S. Ramachandran och U. Stimming. Well to wheel analysis of low carbon alternatives for road traffic. September 2015.
- [29] Statistiska Centralbyrån. Tillförsel och användning av el 2001–2015 (GWh). [Online] Tillgänglig: <http://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arlig-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/pong/tabell-och-diagram/tillforsel-och-anvandning-av-el-20012015-gwh/>, 2016. [Hämtad: 20 Mars, 2017].
- [30] Skatteverket. Skatteverkets författningssamling. [Online] Tillgänglig: http://www4.skatteverket.se/download/18.41feb47d15866ad8f3f120c5/1482931294254/SKVFS+2016_22.pdf, 2016. [Hämtad: 10 Maj, 2017].
- [31] Miljö och energidepartementet. Förordning (2011:1590) om supermiljöbilspremie. [Online] Tillgänglig: http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-20111590-om-supermiljobilspremie_sfs-2011-1590, 2011. [Hämtad: 10 Maj, 2017].
- [32] Energimyndigheten. Ladda bilen hemma. [Online] Tillgänglig: <http://emobility.se/wp-content/uploads/sites/3/2014/10/Emobility.se-Privatpersoner.pdf>. [Hämtad: 10 Maj, 2017].
- [33] Emobility. Vad kostar laddstationer? [Online] Tillgänglig: <http://emobility.se/startside/laddstationsguiden/upphandling/vad-kostar-laddstationer/>. [Hämtad: 10 Maj, 2017].
- [34] Skatteverket. Fordonsskatt. [Online] Tillgänglig: <http://www.skatteverket.se/privat/skatter/bilochtrafik/fordonsskatt.4.18e1b10334ebe8bc80003864.html>. [Hämtad: 10 Maj, 2017].
- [35] Transportstyrelsen. Kontrollbesiktning av personbilar, lätta lastbilar och lätta bussar. [Online] Tillgänglig: <http://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/Fordonsbesiktning/#119803>. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [36] Besikta. Besiktningssperiod - nÅr ska bilen besiktas? [Online] Tillgänglig: <https://besikta.se/sa-funkar-det/nar-ska-jag-besikta/personbil/>. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [37] A. Engqvist.
- [38] Knoema. Crude oil price forecast: Long term 2017 to 2030 — data and charts. [Online] Tillgänglig: <https://knoema.com/yxptpab/crude-oil-price-forecast-long-term-2017-to-2030-data-and-charts>, 2017. [Hämtad: 10 Maj, 2017].
- [39] Svenska petroleum biodrivmedelinstitutet. Utveckling av försäljningspris för bensen, dieselbränsle och etanol. [Online] Tillgänglig: <http://spbi.se/statistik/priser/?gb0=year&df0=1980-01-01&dt0=2017-12-31&ts0=>. [Hämtad: 10 Maj, 2017].
- [40] Bilsvär. Däckkostnad avser att ringa in den ungefärliga kostnaden att hålla en bil med trafiksäkra däck. [Online] Tillgänglig: <http://www.bilsvär.se/sv/a-o1/Dackkostnad/>. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [41] Göteborg stad. Tvätta inte bilen på gatan. [Online] Tillgänglig: http://goteborg.se/wps/portal/start/vatten-och-avlopp/dagvatten/tvatta-inte-bilen-pa-gatan!/ut/p/z1/hY5NC4JAGIR_jdd9Xz9wtdt2MFJJgODbS2hsq6CurFsL_frsGBTNbZhnMAEONfCpefSyMb2ammH1Zx5eSjc9RluXYbGLE9yfsjI5ZHkRJAjVP4CvMf4QQO!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [42] jagrullar. Hur lång tid tvättar du din bil? [Online] Tillgänglig: <http://www.jagrullar.se/forum/viewtopic.php?f=46&t=36018&st=0&sk=t&sd=a>, 2007. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [43] A. Helgesson. Tvättskolan. [Online] Tillgänglig: <https://www.motormannen.se/radgivning/kora-och-aga/tvattskolan/>. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [44] Bollnäs bilvård. Meguiars ultimate wash wax shampoo. [Online] Tillgänglig: https://www.bollnasbilvard.se/schampo/1123-meguiars-ultimate-wash-wax-shampoo-141-g17748.html?search_query=meguiars&results=55. [Hämtad: 11 Maj, 2017].

- [45] NADA. Nada used car guide. [Online] Tillgänglig: <http://www.prnewswire.com/news/nada-used-car-guide>. [Hämtad: 11 Maj, 2017].
- [46] M. Zettermark. Billån - 12 viktigaste sakerna att tänka på. [Online] Tillgänglig: <http://www.expressen.se/motor/billan/billan--12-viktigaste-sakerna-att-tank-a-pa/>, November 2016. [Hämtad: 10 Maj, 2017].

11 Appendix

11.1 Insamlad data om bilmodeller på svenska marknaden

T: Tillverkare, M: Modell, P: Inköpspris i kr, U: Utsläpp i g CO₂/km, D: Drivlina, V: Tjänstevikt i kg, S: Segment, R: Räckvidd i km, B: Batterikapacitet i kWh, MPG: Bränsleförbrukning i mpg, SV: Subventioner i kr

T	M	P	U	D	V	S	R	B	MPG	SV
Audi	A3 e-tron	386000	0	Hybrid	1615	C	50	8.8	31.5	20000
Audi	Q7 TDI e-tron	833000	0	Hybrid	2445	J	54.7	17.3	49.9	20000
BMW	i3 94Ah	354900	0	El	1320	A	300	27.2	0.0	40000
BMW	i3 60Ah	339900	0	El	1280	A	190	18.8	0.0	40000
BMW	i3. REX 94Ah	390900	0	Hybrid	1440	A	231	27.2	31.5	20000
BMW	i3. REX 60Ah	375900	0	Hybrid	1415	A	170	18.8	31.5	20000
BMW	225xe	404400	0	Hybrid	1735	M	41	7.6	42.8	20000
BMW	330e	423500	0	Hybrid	1735	D	37	7.6	27.0	20000
BMW	740e xDrive	965500	0	Hybrid	1975	F	30	9.2	24.3	20000
BMW	i8	1369000	0	Hybrid	1485	S	37	7.1	25.2	20000
BMW	X5 xDrive 40e	662500	0	Hybrid	2305	J	31	9.2	21.6	20000
BMW	530e	522000	0	Hybrid	1845	E	46	9.2	42.8	20000
Citroen	Berlingo Electric	312300	0	El	1715	M	170	22.5	0.0	40000
Hyundai	Ioniq Electric	371900	0	El	1517	C	280	28	0.0	40000
Kia	Soul EV+	369900	0	El	1513	J	212	27	0.0	40000
Kia	Optima Plug-in	394900	0	Hybrid	1705	D	54	9.8	36.0	20000
Mercedes	B250 e	393900	0	El	1725	C	200	36	0.0	40000
Mercedes	E 350 e	558900	0	Hybrid	1925	E	33	6.8	35.9	20000
Mercedes	C350 E Sedan	499900	0	Hybrid	1780	D	30	3.7	27.0	20000
Mercedes	GLC 350e 4MATIC	511900	0	Hybrid	2025	J	34	8.7	33.3	20000
Mercedes	GLE 500e 4MATIC	802000	0	Hybrid	2465	J	30	9	24.3	20000
Mercedes	S 500e long	1091000	0	Hybrid	2320	F	80	13.3	32.1	20000
Mitsubishi	i-MiEV	259900	0	El	1450	A	160	16	0.0	40000
Mitsubishi	Outlander Plug-in	395500	0	Hybrid	1929	J	52	12	52.8	20000
Nissan	Leaf 24kwh acenta	342500	0	El	1475	C	199	24	0.0	40000
Nissan	e-NV200	319400	0	El	1632	M	170	24	0.0	40000
Peugeot	ION	259900	0	El	1195	A	150	16	0.0	40000
Peugeot	Partner Electric	301100	0	El	1730	M	170	22.5	0.0	40000
Porsche	Panamera 4 E-hybrid	980000	0	Hybrid	2170	F	51	14.1	35.9	20000
Porsche	Cayenne S E-hybrid	870000	0	Hybrid	2425	J	36	11	19.8	20000
Porsche	Panamera Turbo S E-hybrid	1850000	0	Hybrid	2385	F	50	14.1	22.5	20000
Renault	ZOE life 22kwh	299900	0	El	1502	B	240	22	0.0	40000
Renault	ZOE Intens 41kwh	339900	0	El	1555	B	400	41	0.0	40000
Renault	Kangoo ZE	203000	0	El	1410	M	270	33	0.0	40000
Tesla	Model X 75D	1006000	0	El	2300	J	417	75	0.0	40000
Tesla	Model X 90D	1104000	0	El	2390	J	489	90	0.0	40000
Tesla	Model X 100D	1222400	0	El	2450	J	565	100	0.0	40000
Tesla	Model X P100D	1539500	0	El	2500	J	542	100	0.0	40000
Tesla	Model S 75	875500	0	El	2000	S	480	75	0.0	40000
Tesla	Model S 75D	929500	0	El	2090	S	490	75	0.0	40000
Tesla	Model S 90D	1031500	0	El	2200	S	557	90	0.0	40000
Tesla	Model S 100D	1190550	0	El	2300	S	632	100	0.0	40000
Tesla	Model S P100D	1518700	0	El	2350	S	613	100	0.0	40000

Toyota	Prius plug in	377900	0	Hybrid	1620	D	16	4.4	48.6	20000
Volkswagen	E-Golf	392000	0	El	1585	C	190	24.2	0.0	40000
Volkswagen	E-Up	279900	0	El	1214	A	160	18.7	0.0	40000
Volkswagen	Golf GTE	379500	0	Hybrid	1600	C	50	9.9	52.8	20000
Volkswagen	Passat GTE	417900	0	Hybrid	1735	D	50	9.9	52.8	20000
Volkswagen	Passat Sportscombi GTE	427900	0	Hybrid	1735	D	50	9.9	52.8	20000
Volvo	XC90 T8 laddhybrid	801000	0	Hybrid	2319	J	43	9.2	22.5	20000
Volvo	S90 T8 laddhybrid	688500	0	Hybrid	2076	E	43	9.2	47.3	20000
Volvo	V90 T8 laddhybrid laddhybrid	614900	0	Hybrid	2101	E	43	9.2	42.8	20000
Kia	Picanto	99900	102	Bensin	930	A	0	0	40.8	0
Volkswagen	Polo	149900	109	Bensin	1200	B	0	0	38.2	0
Volkswagen	Golf	201000	109	Bensin	1300	C	0	0	26.1	0
Volvo	V60 T3	257000	138	Bensin	1792	D	0	0	26.1	0
Volvo	V90 T5	379800	154	Bensin	1933	E	0	0	16.2	0
BMW	730d	885500	124	Bensin	1830	F	0	0	13.5	0
Volvo	XC60 T5	446900	167	Bensin	1905	J	0	0	16.2	0
Volkswagen	Sharan 1.4 TSI	316100	150	Bensin	1838	M	0	0	27.6	0
Audi	TT 1.8 TFSI	331800	134	Bensin	1285	S	0	0	20.7	0
Volkswagen	Caddy comfortline 1.4	251300	131	Bensin	1491	M	0	0	32.1	0

11.2 Insamlad data om andrahandspriser för bilar

Tillverkare	Modell	År	Nypris	Miltal	Pris
Tesla	X P90D	2017	1 104 000,00	125	1 695 000,00
Tesla	S 90D	2017	1 031 500,00	250	1 395 000,00
Tesla	S 90D	2017	1 031 500,00	0	1 345 000,00
Tesla	S 90D	2017	1 031 500,00	0	1 300 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2014	415 900,00	14376	229 900,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2014	415 900,00	14166	227 800,00
VW	Polo	2013	142 500,00	14000	82 900,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2014	415 900,00	13886	219 800,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	13300	139 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2015	415 900,00	11900	289 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2015	415 900,00	11600	299 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	11280	149 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2015	415 900,00	10685	267 800,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	10250	160 000,00
VW	Polo	2014	146 000,00	9600	79 900,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	9500	149 900,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2014	415 900,00	9000	239 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	8800	169 900,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2014	415 900,00	8720	229 800,00
Tesla	X P90D	2016	1 334 400,00	404	1 450 000,00
Tesla	X P90D	2016	1 334 400,00	704	1 595 000,00
Tesla	X P90D	2016	1 334 400,00	750	1 695 000,00
Tesla	X 90D	2016	1 117 000,00	110	1 297 000,00
Tesla	S90D	2016	990 900,00	30	1 300 000,00
Tesla	S P90DL	2016	1 308 900,00	3312	1 374 000,00
Tesla	S P90D	2016	1 202 900,00	1400	1 329 000,00
Tesla	S 90D	2016	990 900,00	1700	980 000,00
Tesla	S 90D	2016	990 900,00	254	1 247 000,00
Tesla	S 60	2016	748 000,00	1250	699 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2016	417 900,00	8525	329 900,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	8500	159 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2014	419 900,00	7975	244 900,00
Toyota	Prius Plug-In	2012	357 300,00	7800	164 500,00
VW	Polo TSI 90	2013	142 500,00	7500	79 900,00
BMW	i3 REX	2014	375 900,00	7400	249 900,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	7324	169 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2015	409 900,00	7250	269 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2012	357 300,00	6800	159 000,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2014	419 900,00	6651	259 900,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	6200	204 900,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	6200	179 500,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2014	419 900,00	6134	230 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	6132	169 000,00
VW	Polo TSI 90	2014	146 000,00	5900	89 000,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2015	409 900,00	5615	314 800,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2016	417 900,00	5470	319 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2014	419 900,00	4998	274 800,00
VW	Polo	2013	142 500,00	4980	79 900,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	4900	199 900,00
Nissan	Leaf Tekna	2013	369 000,00	4800	204 900,00
VW	Polo	2015	149 500,00	4800	114 900,00
VW	Polo	2013	142 500,00	4730	84 999,00

Toyota	Prius Plug-In	2014	364 400,00	4610	175 000,00
BMW	i3	2016	339 900,00	4498	239 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2015	409 900,00	4330	309 000,00
BMW	i3 REX	2014	375 900,00	4250	267 500,00
BMW	i3 60Ah	2014	339 900,00	4248	234 500,00
Toyota	Prius Plug-In	2012	357 300,00	4200	185 000,00
VW	Polo	2014	146 000,00	4149	92 000,00
VW	Polo	2015	149 500,00	4146	104 800,00
VW	Polo	2014	146 000,00	3985	94 800,00
Nissan	Leaf Acenta	2015	339 900,00	3900	189 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2014	364 400,00	3838	207 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2016	417 900,00	3600	355 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2015	415 900,00	3600	339 800,00
Toyota	Prius Plug-In	2013	361 900,00	3500	189 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2015	365 400,00	3446	219 900,00
Tesla	S S70	2015	775 000,00	1944	689 800,00
Tesla	S P85D	2015	999 000,00	4405	997 000,00
Tesla	S P85D	2015	999 000,00	3210	957 000,00
Tesla	S P85D	2015	999 000,00	2900	1 059 000,00
Tesla	S P85D	2015	999 000,00	2250	1 200 000,00
Tesla	S P85D	2015	999 000,00	2350	1 145 000,00
Tesla	S P85D	2015	999 000,00	2100	1 099 000,00
Tesla	S P85D	2015	999 000,00	2260	1 195 000,00
Tesla	S P85	2015	999 000,00	4250	829 000,00
Tesla	S 85D	2015	935 200,00	3160	895 000,00
Tesla	S 85	2015	888 900,00	4750	1 100 000,00
Tesla	S 85	2015	771 000,00	1886	879 000,00
Tesla	S 70D	2015	779 000,00	8747	695 000,00
BMW	i3 60Ah	2014	339 900,00	3361	259 900,00
BMW	i3	2014	339 900,00	3250	259 000,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2014	419 900,00	3229	256 000,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2015	409 900,00	3140	319 900,00
Nissan	Leaf Acenta	2015	339 900,00	3100	199 000,00
Nissan	Leaf Acenta	2014	340 900,00	3065	198 800,00
Tesla	S P85+	2014	989 300,00	5100	729 000,00
Tesla	S P85	2014	837 500,00	3877	764 800,00
Tesla	S P85	2014	837 500,00	3637	759 000,00
Tesla	S P85	2014	837 500,00	4534	737 000,00
Tesla	S P85	2014	837 500,00	5950	749 000,00
Tesla	S 85	2014	717 000,00	5400	699 900,00
Tesla	S 85	2014	717 000,00	5589	729 800,00
Tesla	S 85	2014	717 000,00	4510	BUDKVD
Tesla	S 85	2014	717 000,00	10250	724 000,00
Tesla	S 85	2014	717 000,00	3375	729 000,00
Tesla	S 85	2014	717 000,00	4700	749 900,00
Tesla	S 85	2014	717 000,00	12250	700 000,00
Nissan	Leaf Navi	2013	369 900,00	2950	164 900,00
BMW	i3 60Ah REX	2016	375 900,00	2900	299 500,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2016	417 900,00	2900	379 000,00
VW	Polo TSI 90 Man Masters	2015	149 500,00	2831	113 800,00
VW	Polo	2015	149 500,00	2779	119 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2015	409 900,00	2764	292 500,00
BMW	i3	2014	339 900,00	2700	255 000,00
Nissan	Leaf Acenta	2014	340 900,00	2660	198 800,00
BMW	i3 REX	2014	375 900,00	2550	309 000,00
VW	Polo	2015	149 500,00	2500	119 000,00

Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2016	417 900,00	2500	389 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD Ocean Race	2015	415 900,00	2500	345 000,00
Tesla	S P85	2013	838 900,00	4600	759 900,00
Nissan	Leaf Acenta	2016	358 900,00	2350	259 900,00
Nissan	Leaf Acenta	2014	340 900,00	2280	198 800,00
Toyota	Prius Plug-In	2014	364 400,00	2200	210 000,00
Nissan	Leaf Acenta	2014	340 900,00	2140	198 800,00
BMW	i3 REX	2015	375 900,00	1869	299 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2014	364 400,00	1850	229 900,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	1650	314 500,00
VW	Polo	2014	146 000,00	1541	109 000,00
VW	Polo	2013	142 500,00	1500	89 900,00
VW	Polo	2016	162 900,00	1490	122 800,00
Nissan	Leaf Tekna	2016	388 800,00	1390	259 900,00
BMW	i3 REX	2015	375 900,00	1348	309 700,00
VW	Polo	2016	162 900,00	1330	129 900,00
BMW	i3 94Ah REX	2017	390 900,00	1250	399 000,00
BMW	i3 REX	2014	375 900,00	1130	269 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	1060	359 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	1033	309 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	950	309 000,00
BMW	i3 BEV	2016	339 900,00	860	295 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	800	319 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	800	359 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	800	339 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	780	318 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	749	329 900,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	680	329 000,00
VW	Polo TSI 90 Man Masters	2016	162 900,00	599	124 800,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	510	349 000,00
Nissan	Leaf Tekna	2016	369 800,00	500	339 900,00
Nissan	Leaf Tekna	2016	388 800,00	500	391 490,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	500	429 000,00
VW	Polo	2016	162 900,00	500	129 000,00
Nissan	Leaf Acenta	2016	358 900,00	470	274 900,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	470	349 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	440	349 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00	434	329 900,00
BMW	i3 94Ah REX	2017	390 900,00	400	419 900,00
Nissan	Leaf Tekna	2016	388 800,00	350	279 900,00
Nissan	Leaf	2015		350	288 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00 kr	340	379 000,00
BMW	i3 94Ah REX	2017	390 900,00 kr	300	501 300,00
BMW	i3 94Ah	2017	354 900,00 kr	300	446 800,00
BMW	i3 94Ah REX	2017	390 900,00 kr	285	399 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00 kr	270	319 000,00
VW	Polo	2016	162 900,00 kr	265	129 900,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00 kr	240	359 000,00
Toyota	Prius Plug-In	2014	364 400,00 kr	230	219 900,00
Nissan	Leaf Tekna	2017	391 400,00 kr	200	299 900,00
Nissan	Leaf Acenta	2016	358 900,00 kr	200	289 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00 kr	200	339 000,00
BMW	i3 REX	2015	375 900,00 kr	200	309 000,00
BMW	i3 REX	2016	375 900,00 kr	152	298 000,00

Nissan	Leaf Acenta	2016	358 900,00 kr	100	279 000,00
BMW	i3	2016	339 900,00 kr	10	289 900,00
Nissan	Leaf Tekna	2017	391 400,00 kr	0	357 390,00
Nissan	Leaf Tekna	2017	391 400,00 kr	0	396 210,00
Nissan	Leaf Acenta	2017	342 500,00 kr	0	348 490,00
Nissan	Leaf Acenta	2017	342 500,00 kr	0	348 490,00
Nissan	Leaf Acenta	2017	342 500,00 kr	0	348 490,00
Nissan	Leaf Acenta	2017	361 500,00 kr	0	349 900,00
Nissan	Leaf Acenta	2017	342 500,00 kr	0	348 490,00
Nissan	Leaf Acenta	2017	361 500,00 kr	0	377 490,00
BMW	i3 94Ah	2017	354 900,00 kr	0	446 800,00
Nissan	Leaf Tekna	2016	369 800,00 kr	0	378 390,00
Nissan	Leaf Tekna	2016	388 800,00 kr	0	329 900,00
Nissan	Leaf Tekna	2016	388 800,00 kr	0	394 900,00
Nissan	Leaf Acenta	2016	339 900,00 kr	0	361 590,00
Nissan	Leaf Acenta	2016	358 900,00 kr	0	321 590,00
Nissan	Leaf Acenta	2016	339 900,00 kr	0	279 900,00
Volkswagen	Polo TSI 90 Man	2017	149 900,00 kr	0	154 700,00
VW	Polo	2017	149 900,00 kr	0	146 000,00
VW	Polo	2017	149 900,00 kr	0	139 900,00
VW	Polo	2017	149 900,00 kr	0	139 900,00
VW	Polo	2017	149 900,00 kr	0	139 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2016	409 900,00 kr	0	379 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2016	409 900,00 kr	0	379 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2016	409 900,00 kr	0	379 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2016	409 900,00 kr	0	389 900,00
Mitsubishi	Outlander PHEV	2016	409 900,00 kr	0	379 900,00
VW	Polo TSI 90	2012	139 900,00 kr	9000	65 000,00
VW	Polo TSI 90	2012	139 900,00 kr	4800	99 900,00
VW	Polo TSI 90	2012	139 900,00 kr	14450	59 990,00
VW	Polo TSI 90	2012	139 900,00 kr	6266	84 900,00
VW	Polo TSI 90	2012	139 900,00 kr	2503	79 900,00
VW	Polo 1.4	2011	133 900,00 kr	11226	64 900,00
VW	Polo 1.4	2011	133 900,00 kr	9800	69 900,00
VW	Polo 1.4	2011	133 900,00 kr	4500	73 000,00
VW	Polo 1.4	2011	133 900,00 kr	9850	89 900,00
VW	Polo 1.4	2011	133 900,00 kr	10524	69 000,00
VW	Polo 1.4	2010	131 000,00 kr	12470	74 900,00
VW	Polo 1.4	2010	131 000,00 kr	12700	59 900,00
VW	Polo 1.4	2010	131 000,00 kr	5000	67 000,00
VW	Polo 1.4	2010	131 000,00 kr	9709	65 900,00
VW	Polo 1.4	2010	131 000,00 kr	19500	50 000,00
VW	Polo 1.4	2009	131 000,00 kr	4990	59 500,00
VW	Polo 1.4	2009	131 000,00 kr	10500	46 000,00
VW	Polo 1.4	2009	131 000,00 kr	3000	64 500,00
VW	Polo 1.4	2009	131 000,00 kr	11640	49 900,00
VW	Polo 1.4	2009	131 000,00 kr	11000	51 000,00
VW	Polo 1.4	2008	129 900,00 kr	18500	32 000,00
VW	Polo 1.4	2008	129 900,00 kr	16600	37 800,00
VW	Polo 1.4	2008	129 900,00 kr	10300	44 900,00
VW	Polo 1.4	2008	129 900,00 kr	15000	39 900,00
VW	Polo 1.4	2008	129 900,00 kr	12096	46 900,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2012	393 000,00 kr	6300	229 900,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2012	393 000,00 kr	6970	215 000,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2012	393 000,00 kr	10000	210 000,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2012	393 000,00 kr	20508	189 000,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2012	393 000,00 kr	8554	230 000,00

Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2011	390 000,00 kr	9700	204 900,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2011	390 000,00 kr	15400	163 000,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2011	390 000,00 kr	11000	209 500,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2011	390 000,00 kr	16803	189 900,00
Volvo	XC60 D3 AWD Summum	2011	390 000,00 kr	12000	179 000,00
Volvo	XC60 2.4D AWD Momentum	2010	370 000,00 kr	23000	135 000,00
Volvo	XC60 2.4D AWD Momentum	2010	370 000,00 kr	11400	179 000,00
Volvo	XC60 2.4D AWD Momentum	2010	370 000,00 kr	13031	189 000,00
Volvo	XC60 2.4D AWD Momentum	2010	370 000,00 kr	14195	169 000,00
Volvo	XC60 2.4D AWD Momentum	2010	370 000,00 kr	14800	179 900,00
Volvo	XC60 2.4D AWD	2009	382 900,00 kr	12236	153 500,00
Volvo	XC60 2.4D AWD	2009	382 900,00 kr	13885	189 000,00
Volvo	XC60 2.4D AWD	2009	382 900,00 kr	17000	129 500,00
Volvo	XC60 2.4D AWD	2009	382 900,00 kr	14673	139 500,00
Volvo	XC60 2.4D AWD	2009	382 900,00 kr	13500	148 500,00
Volvo	XC60 2.4D AWD	2008	367 900,00 kr	10600	149 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD	2013	368 000,00 kr	9700	229 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD	2013	368 000,00 kr	8994	237 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD	2013	368 000,00 kr	14600	199 900,00
Volvo	XC60 D4 AWD	2013	368 000,00 kr	19500	169 000,00
Volvo	XC60 D4 AWD	2013	368 000,00 kr	15900	198 900,00

11.3 Klimatpåverkan under batteriproduktion

Table 3-8. Global Warming Potential by Battery Component (kg CO₂-Eq./kWh Capacity)¹⁾

Chemistry	LiMnO ₂		Li-NCM		LiFePO ₄		Average	
Component	Value	Pct.	Value	Pct.	Value	Pct.	Value	Pct.
Anode	1.23E+01	19.5%	7.81E+00	6.5%	9.61E+00	6.4%	9.92E+00	8.9%
Cathode	3.29E+01	51.9%	4.86E+01	40.3%	3.27E+01	21.6%	3.81E+01	34.1%
Separator	7.62E-01	1.2%	0.00E+00	0.0%	1.70E+00	1.1%	8.19E-01	0.7%
Electrolyte	3.73E+00	5.9%	1.46E+01	12.1%	9.69E+00	6.4%	9.35E+00	8.4%
Cell casing	7.68E-01	1.2%	4.53E+00	3.8%	2.50E+01	16.5%	1.01E+01	9.0%
Cell manufacture	1.77E+00	2.8%	0.00E+00	0.0%	0.00E+00	0.0%	5.91E-01	0.5%
<i>Cell subtotal</i>	<i>5.23E+01</i>	<i>82.4%</i>	<i>7.56E+01</i>	<i>62.7%</i>	<i>7.87E+01</i>	<i>52.0%</i>	<i>6.89E+01</i>	<i>61.6%</i>
BMS	4.14E+00	6.5%	4.14E+00	3.4%	4.14E+00	2.7%	4.14E+00	3.7%
Pack case/housing	6.26E+00	9.9%	6.26E+00	5.2%	7.43E+00	4.9%	6.65E+00	6.0%
Pack manufacture	5.61E-02	0.1%	3.38E+01	28.0%	6.02E+01	39.8%	3.14E+01	28.1%
Transportation	6.62E-01	1.0%	8.02E-01	0.7%	7.54E-01	0.5%	7.40E-01	0.7%
Total	6.34E+01	100%	1.21E+02	100%	1.51E+02	100%	1.12E+02	100%

Notes: ¹⁾ kWh = kilowatt-hour battery capacity; kg CO₂-Eq. = kilograms of carbon dioxide equivalent greenhouse gas emissions

Figur 37: Skillnader i klimatpåverkan för olika batterikemier under batteriproduktion