

Automatiskt laddbara fordon i prosumentens ekosystem

Publik rapport



Författare: Stefan Pettersson, Johan Wedlin, Urban Kristiansson, Tommy Fransson, Susanne Bjärsvik, Robert Eriksson, Anders Höckenström samt Niklas Mellegård.

Datum: 2018-11-13

Projekt inom: Elektronik, mjukvara och kommunikation - FFI - 2017-06-13

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
1 Executive summary in English	4
2 Bakgrund	5
3 Syfte, forskningsfrågor och metod	8
4 Mål	8
5 Resultat och måluppfyllelse	9
5.1 Leveranser	9
6 Spridning och publicering	11
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	11
6.2 Publikationer och seminarier	11
7 Slutsatser och fortsatt forskning	12
7.1 Användningsfall och interaktionsdesign	12
7.2 Systemöversikt.....	12
7.3 Helautomatisk detektering av och navigering till parkerings- och laddplats	14
7.4 Helautomatisk laddning	16
7.5 Laddningsbalans mellan fordonets batteri, stationärt batteri, och elnät.....	17
7.6 Peer-to-Peer energi.....	18
7.7 Kommunikationsstrategi.....	19
7.8 Verifiering i simulator.....	20
7.9 Prosuments ekonomi och koldioxidbelastning	20
7.10Fortsatt forskning	25
7.11Fortsättningsprojekt.....	25
8 Deltagande parter och kontaktpersoner	27
8.1 RISE Viktoria	27
8.2 Volvo Car Corporation.....	27
9 Referenser	28
Appendix A: Reglersystem ALPEN vid hemmaladdning	29
Appendix B: Reglersystem ALPEN vid extern laddning	30
Appendix C: Nyckelparametrar batteriåldring	31
Appendix D: Indata till ekonomiberäkningar	32

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr. För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

Sammanfattning

Detta projekt har varit en förstudie för att planera ett huvuduppdrag med avsikten att demonstrera hur elektrifierade fordon bäst passar in i prosumenter¹ ekosystem, och denna riggning pågår fortfarande. Under förstudien har en handfull parter kontaktats för expertutlåtanden samt sondering inför fortsättningsprojekt. Huvuduppdraget kommer att innebära att en hel del användarfrågor rätas ut, förutom att tekniskt förbereda fordonet med rätt gränssnitt etc. i prosumenter ekosystem. Denna förstudie har hittills resulterat i ett antal relaterade projektförslag, som redan ansökts eller kommer att ansökas inom kort, som alla kopplar till smarta hemmet, användarbeteenden, analys av olika energiförbrukande- och lagrande delsystem i hemmet samt förberedelser i Swedish Electric Transport Laboratory - SEEL.

Automatiserad navigering och positionering har tillsammans med elbilar och induktiv laddning passerat de första prototypstadierna. Kunskapsuppbyggnad om teknologin pågår inom forskarvärld och industri. Fordonstillverkare har i olika sammanhang visat att de studerar dessa teknologier. Sammantaget finns det skäl att tro att fordonsbranschen står inför ett tekniksprång. För att svensk industri skall klara övergången till det tekniksprånget är det viktigt att tidigt identifiera och agera på de viktigaste möjligheterna.

Introduktionen av privatägda solceller i elnätet ökar närmast exponentiellt. Tillsammans med övergången till elektrifierade transporter öppnar det upp nya möjligheter och utmaningar. Att endast titta på övergången som ett byte av bränsle räcker inte. Elektrifiering påverkar inte bara fordonet utan även användarmönster, eldistribution, skattesystem och intäktskedjor för alla inblandade. Exempelvis är det viktigt att begränsa laddeffekten under tidpunkter då elnätet är som mest belastat. Detta håller ner investeringsbehovet i elnätet, men än viktigare är att konsumenter kan styra sin effektförbrukning och därmed hålla nere sina egna kostnader. För prosumenter är det viktigt att egenproducerad el kommer till maximal nytta. Vi ser redan idag spår av smartare hem genom existerande eller kommande marknadserbudanden; t.ex. IKEA och andra aktörer skönjer en marknad för solpaneler, laddfordon och laddinfrastruktur. Toyota, Nissan, Tesla med flera erbjuder också lösningar där bilen har en given plats.

Syftet med den här förstudien har varit att generellt öka förståelsen för hur elektrifierade fordon kan integreras med solceller, stationära batterier och övriga delkomponenter i prosumenter ekosystem, för att bilda en helhet, eller ett system-of-systems, som tillsammans kan leverera något som är bättre än de ingående delarna var för sig. För fordonsindustrin är det generellt viktigt att förbereda sig för denna utveckling eftersom de utvecklar bilen som viktig komponent i helheten. För den enskilde fordonstillverkaren är det avgörande att utveckla konkurrenskraftiga fordon som i rätt tid tillgängliggörs marknaden. Denna förstudie har resulterat i att dialogen internt Volvo Cars har kommit igång vad som behöver göras, vilket är viktigt för den fortsatta utvecklingen och svensk konkurrenskraft. RISE har utökat sina kunskaper inom ett viktigt framtidsområde, och diskussioner pågår hur SEEL² kan förberedas för kommande möjligheter.

För att börja undersöka hur beteenden förändras har förstudien utarbetat ett antal användarscenarion som beskriver hur en elbilsägare som samtidigt äger solceller kan tänkas vilja agera. Vidare studier av dessa användarscenarion har givit begränsningar på ingående komponenter samt pekat på områden som kräver vidare forskning och utveckling. Exempelvis har förstudien utvärderat möjligheten och ekonomin för en prosumenter att använda egenproducerad el för att ladda sin elbil oavsett var den står parkerad. Det i sin tur leder till ytterligare krav på kommunikationsvägar, API:er³ och regelverk. Sammantagen pekar förstudien på att det tidigare beskrivna scenariot kan vara attraktivt för både de enskilda prosumenterna men också för samhället som helhet.

¹ <https://sv.wikipedia.org/wiki/Prosumenter>

² <https://www.investingothenburg.com/news/sweden-invests-eur-100-million-electromobility-testbed>

³ https://sv.wikipedia.org/wiki/Application_Programming_Interface

1 Executive summary in English

This project has been a pre-study for planning a main project with the intention of demonstrating how electrified vehicles best fit into prosumers' ecosystems, and this rigging is still ongoing. During the preliminary study, a handful of parties have been contacted for expert opinions and probation for continuation projects. The main project will mean that user preferences are sorted out, in addition to technically preparing the vehicle with the right interfaces, etc. in the prosumers' ecosystem. This pre-study has so far resulted in several related project proposals that have already been applied for or will be applied shortly, all of which link to smart homes, user behavior, analysis of different energy consumption and storage subsystems at home, and preparations in the Swedish Electric Transport Laboratory - SEEL.

Automated positioning and navigation in combination with electrified vehicles have transitioned beyond the first prototypes. The knowledge base is broadened within the research community as well as within the industry. Vehicle manufacturers have shown that they are studying the new developments. Taken as a whole the possibility that the transportation sector approaches a technology leap becomes more probable. History teaches us that it is crucial to be ahead of the curve when these types of technology leaps occur.

The introduction of privately-owned solar cells within the electricity grid is steadily rising. In combination with the transition to electrified transportation new opportunities and challenges arise. Assuming that the electrification simply is a change of energy carrier is too simplistic. Electrification affects the whole ecosystem – user patterns, electricity distribution, tax systems and revenue chains. We already see traces of smarter homes through existing or upcoming market offerings; e.g. IKEA and other actors appreciate a market for solar panels, chargers and charging infrastructure. Toyota, Nissan, Tesla and others also offer solutions where the car has a given position.

The purpose of this pre-study has been to generally increase the understanding of how electrified vehicles can be integrated with solar cells, stationary batteries and other components of the prosumers' ecosystem, to form a whole, or a system of systems that together can deliver something that is better than the separate parts. For the automotive industry, it is generally important to prepare for this development as they develop the car as a key component in its entirety. For the individual vehicle manufacturer, it is crucial to develop competitive vehicles that are available on time in the market. This pre-study has resulted in that the internal Volvo Cars dialogue having started what needs to be done, which is important for continued development and Swedish competitiveness. RISE has expanded its knowledge in an important future area, and discussions are ongoing internally on how SEEL can be prepared for future opportunities.

To begin investigating how behavior changes, the preliminary study has elaborated a number of user scenarios that describe how a car owner who simultaneously owns solar cells may wish to act. Further studies of these user scenarios have provided limitations on component components and pointed to areas requiring further research and development. For example, the study has evaluated the possibility and the economy of a prosumer to use self-produced electricity to charge their electric car regardless of where it is parked. This in turn leads to additional requirements for communication paths, APIs and regulations. In summary, the preliminary study points out that the previously described scenario can be attractive to both the individual prosumers' and the society as a whole.

2 Bakgrund

Utnyttjandet av solenergi och andra förnybara källor ökar globalt, se [1] och även notisen i högerspalten. Detta är bra ur klimatsynvinkel generellt eftersom det minskar användandet av fossila bränslen för elproduktion och möjliggör en naturlig utfasning av kärnkraftverken exempelvis i Sverige. Ju snabbare omställningstakt desto snabbare och större miljövinster. Det finns med andra ord en hel del att vinna på ett påskyndande av omställningen.

Laddbara fordon, rena elfordon och plugin-hybrider, ökar i antal globalt. Även detta är bra ur klimatsynvinkel eftersom det minskar användandet av fossila bränslen i fordonssektorn. Sverige har en målsättning om en fossiloberoende fordonssektor 2025 och en fossilfri fordonsflotta 2050 [2]. Även i detta fall innebär en snabbare omställningstakt större miljövinster.

Idag produceras den mesta energin i Sverige genom stora vattenkraftanläggningar, kärnkraftverk, fossileldade verk och i viss mån vindkraft [3]. Elenergin transporteras med kraftledningar från dessa elproduktionssystem och grenas finmaskigt ut ju närmare förbrukaren vi kommer [4]. Det har inte funnits ett stort behov av att lagra elenergi tidigare, utan produktionskapaciteten förändras efter konsumtionsmönstret.

I takt med ökad mikroproduktion, dvs. hushåll och verksamhet som själva producerar sin el exempelvis genom solpaneler eller små vindkraftverk, så förändras förutsättningarna i produktionen och distributionen av elen [5]. Introduktionen av privatägda solceller i elnätet ökar närmast exponentiellt. Solpaneler på taket som förser t.ex. en villa med elenergi är intermitterent i avseende att solenergin varierar över dygnet efter tid och väder. Detta innebär att det ibland kommer att vara ett överskott av producerad energi och ibland ett underskott. Distributionsnätet fungerar som en naturlig buffert genom att andra konsumenter kan ta hand om eventuell överskottsel samt att underskottet kan fyllas av utomstående elproduktion. Ett alternativ till denna möjlighet är att lagra överskottet lokalt och att styra elkonsumtionen. Lokalt går det att pumpa in överskottsenergi i exempelvis värmepumpen och underskottet kan lösas genom att avstå från att ta ut effekt vid låg solelsproduktion t.ex. genom att inte starta tvättmaskinen.

Ett annat alternativ är att installera ett dedikerat energilager i huset, t.ex. ett stationärt batteri. Priset på batterier sjunker stadigt och det börjar bli en rimlig möjlighet. Fordonsbatterier är dock betydligt mer konkurrensutsatta och därför är det sannolikt mer kostnadseffektivt att använda dessa för att lagra energi. I en framtid kan uttjänta bilbatterier användas som stationära energilager i hus, för att kunna lagra energi även när bilen inte är inkopplad på nätet. För att kunna skyffla energi fram och tillbaka mellan producenter och förbrukare, antingen lokalt i huset via batteriet i bilen samt huset, eller globalt ut på nätet, så krävs det intelligens i nätet i form av sensorer, styrning och kommunikation mellan befintliga enheter. Det smarta hemmet är redan ett välbekant begrepp och vi ser redan spår av denna trend genom att det börjar dyka upp lösningar, om än kostsamma sådana. Extra intressant är att IKEA och andra aktörer skönjer en marknad för solpaneler och laddinfrastruktur [6], vilket kan ge en rejäl skjuts i utvecklingen när priserna pressas neråt. En rapport från EU:s expertgrupp för eldrift av transportsektorn [7] kom fram till att det är viktigt att få till synergier mellan elfordon, uppkoppling och energiinfrastrukturen för att få mer valuta för pengarna.

Möjligheterna beskrivet ovan drivs fram av digitalisering, kostnadsskäl och människors behov och önskemål. Människors drivkrafter är delvis ekonomiska men även miljömedvetenheten och

GP 27 december 2016

Solenergi ikapp eller förbi fossilt

ENERGI: Den förnyelsebara energins tid är nu, i alla fall enligt World Economic Forum (WEF) skriver tidskriften Quartz.

Sol- och vindenergi är nu billigare eller i samma prisnivå som nya fossila bränslen i mer än 30 länder. Och priserna på förnybar energi fortsätter att sjunka.

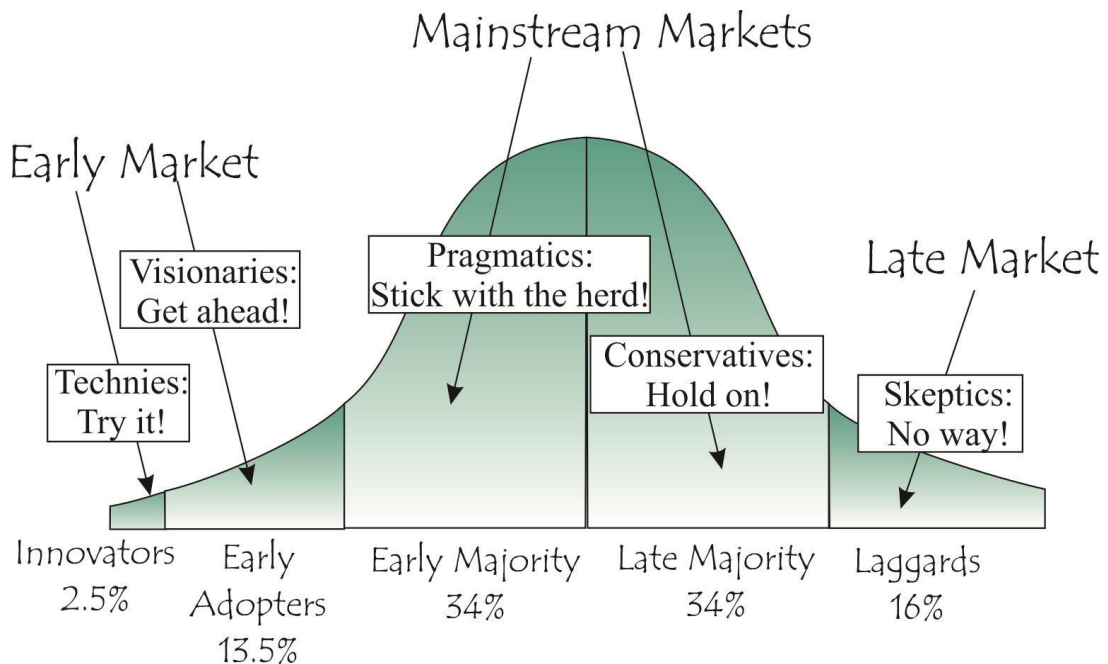
Enligt Michael Drexler, infrastruktur- och utvecklingsansvarig på WEF, har förnybar energi nått en brytpunkt.

”Det är inte bara kommersiellt gångbart utan en lockande investeringsmöjlighet med långsiktigt, stabil, inflations-skyddad vinst”, säger han i ett pressmeddelande.

Solenergi förväntas vara hälften så dyrt som el från kol och naturgas inom tio till 20 år. (TT)

välbefinnande av att göra något bra inför kommande generationer. Av dessa skäl, samt lagkrav och incitament för att driva mot ett hållbart samhälle, så kommer människors konsumtion att styras över mot ett hållbart uthålligt samhälle.

Det finns flera hinder för storskalig utrollning av laddbara fordon. Ett av dessa hinder är den eventuella oro/tveksamhet vissa användare känner inför den nya teknik som dessa fordon för med sig, där speciellt hanteringen av elsladdar vid laddning är en potentiell barriär, åtminstone för premiumkunder samt gruppen av människor som inte tillhör så kallade innovatörer och tidigare brukare (engelskans innovators och early adopters), se Figur 1.



Figur 1: Indelning av människor i olika grupper beroende på deras inställning till ny teknik. De som själva tar initiativ till att köpa laddbara fordon i Sverige tillhör kategorin innovatörer (Innovators) och tidiga användare (Early Adopters). I antal är dessa ganska få och utmaningen är att nå en större andel människor och övervinna gapet till den tidiga majoriteten (Early Majority) av människor⁴.

Konventionella fordon som har stora tankvolymmer behöver tankas relativt sällan jämfört med laddbara fordon (som av storlek-, vikt- och kostnadsskäl håller ner batteristorleken) som behöver fyllas på betydligt oftare, vilket är ett argument mot ett köp av rena elfordon och plugin hybrider. Detta är mest påtagligt vid snabbbladdning av elfordon där tunga sladdar och otympliga kabelhandskar skall passas in i fordonets uttag vilket blir extra besvärligt om sladden är smutsig och våt, men även vid normalladdning uppkommer problematiken.

Induktionsladdning är en teknik som har potential att underlätta för användaren genom att momentet att koppla in en sladd saknas. I det Energimyndighetsfinansierade WiCh-projektet (Projektnummer 35866–1), innefattande världens fortfarande största enskilda fältstudie av induktionsladdning, där 20 personbilar i kommunal och enskild verksamhet har utrustats med eftermonterad induktionsladdningsteknik, följdes användningen under ett och ett halvt års tid. Resultaten av studien visar att trådlös laddning kan vara attraktiv jämfört med laddning med sladd, och att laddbeteendet sannolikt kommer att förändras med trådlös laddning [8]. Autonom körning implicerar automatisk laddning, eftersom bilen med fördel behöver fyllas med energi utan inblandning av någon person.

⁴ Bilden och en beskrivning av teorin bakom kan läsas bl.a. på https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_adoption_life_cycle där även referenser ges.

Självkörande fordon, med automatisk laddning t.ex. genom induktionsteknik, som integreras i det smarta hemmet med egen förnybar elproduktion kan vara erbjudandet som får omställningen att ske. Introduktionen av privatägda solceller tillsammans med övergången till elektrifierade transporter öppnar det upp nya möjligheter och utmaningar. Att endast titta på övergången som ett byte av bränsle räcker inte. Elektrifiering påverkar inte bara fordonet utan även användarmönster, eldistribution, skattesystem och intäktskedjor för alla inblandade. Exempelvis är det viktigt att begränsa laddeffekten under tidpunkter då elnätet är som mest belastat. Detta håller ner investeringsbehovet i elnätet, men än viktigare är att prosumenter kan styra sin effektförbrukning och därmed hålla nere sina egna kostnader.

Fordonstillverkare behöver förhålla sig till utvecklingen som sker och förstå vart trenderna pekar. Om det inte görs ordentligt riskerar dessa annars att halka efter med sina produkter och tappa marknadsandelar och i värsta fall behöva lägga ner sin verksamhet. De flesta fordonstillverkare har större ambitioner än så och en del vill till och med vara med och driva utvecklingen mot ett hållbart samhälle. Tesla är en av fordonstillverkarna som sticker ut ur mängden genom att producera enbart rena elfordon med lång räckvidd. Dessutom erbjuder Tesla både batterilager samt solpaneler för hemmabruk [9], och har därmed börjat utveckla produkter som på sikt kan göra kunder självförsörjande på el för både hem och bil. Tesla är ett intressant företag ur flera synvinklar, men det finns moln på himlen Tesla har för första gången visat vinst men det finns inga garantier för framtida vinster och att investerarna långsiktigt vill pumpa in pengar i företaget så vi kan inte förlita oss på att Tesla finns kvar eller har råd att driva utvecklingen själva. Det är inte heller enkelt, om ens möjligt, för andra aktörer att koppla upp sig mot exempelvis Teslas batterilager eftersom gränssnittet och möjligheten att styra dessa är begränsade. Konsekvensen är att om en husägare investerar i Teslas smartahemlösningar så ligger det nära tillhands att även nästa bil blir en Tesla för att slippa investera i ny infrastruktur i hemmet. Övriga fordonsföretag bör engagera sig i möjligheterna och vara med och driva utvecklingen. Japanska fordonstillverkare som Toyota har, förutom Tesla, varit de som hittills visat upp smarta hemlösningar, se [10] respektive [11], där bilen kan mata tillbaka energi till huset och solenergi kan lagras i batterier, tydligt drivet av en vilja att erbjuda attraktiva kundlösningar bl.a. för att Japan ofta har jordbävningar med elavbrott som följd.

Även Volvo Cars ser en mycket tydlig trend att elektrifierade fordon och prosumenter växer snabbt. Flera av Volvo Cars kunder efterfrågar förenklad hemmaladdning av sina elektrifierade fordon samt att de vill kunna "tanka" den egenproducerade elenergin från fler olika laddningsställen. Volvo Cars vill inte bara öka sina marknadsandelar utan göra det med produkter med låg miljöpåverkan som bidrar till att minska fossilberoendet i samhället och till och med vara marknadsdrivande inom vissa segment. Eftersom bilar byggs i 7-åriga utvecklingscykler är det viktigt att i rätt tid ha rätt insikter för att anpassa kommande produkter, annars finns risken att ny funktionalitet kommer in i produkterna flera år senare, i värsta fall 6–7 år senare om nästa generations plattform får inväntas. Det gäller därför att planera i tid och titta en bit fram i tiden och förutse utveckling och till och med vara med och påverka framtiden.

Avsikten med den här förstudien har varit att generellt öka förståelsen för hur elektrifierade fordon kan integreras i det smarta hemmet med solceller, stationära batterier och övriga delkomponenter i prosumenterns ekosystem, för att bilda en helhet, eller ett system-of-systems, som tillsammans kan leverera något som är bättre än de ingående delarna var för sig. För fordonsindustrin är det generellt viktigt att förbereda sig för denna utveckling eftersom de utvecklar bilen som viktig komponent i helheten. För den enskilde fordonstillverkaren är det avgörande att utveckla konkurrenskraftiga fordon som i rätt tid tillgängliggörs marknaden. Denna förstudie har resulterat i att dialogen internt Volvo Cars har kommit igång vad som behöver göras, vilket är viktigt för den fortsatta utvecklingen och svensk konkurrenskraft. RISE har utökat sina kunskaper inom ett viktigt framtidsområde, och diskussioner pågår hur SEEL⁵ kan förberedas för kommande möjligheter.

⁵ <https://www.investingothenburg.com/news/sweden-invests-eur-100-million-electromobility-testbed>

3 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med denna förstudie är att generellt öka förståelsen för hur elektrifierade fordon bäst passar in i prosumenteras ekosystem bestående av ett antal samverkande system samt identifiera fortsatta aktiviteter och initiera nya forskningsprojekt för att bygga kunskap och förbereda implementering av sådana smarta ekosystem.

Förstudien är en explorativ studie⁶, vilket som namnet antyder är en utforskande undersökning. Metodiken används med fördel för att utveckla företaget inom ett nytt affärsområde. Oftast tillfrågas ett fåtal personer, kanske bara en grupp experter på området. Arbetssättet som har tillämpats i studien är bl.a. att två specialister från vardera RISE Viktoria och Volvo Cars per teknikområde tillsammans med sina närmsta medarbetare analyserar hur fordonet (bilen) påverkas av konceptlösningen. Gemensamma workshops och möten har skapat samsyn och gemensam förståelse för problemställningar. Resultatet från förstudien har stärkts genom workshops och intervjuer med externa parter från elkraftssektorn.

Det finns en uppsjö av frågeställningar inom området, som var och en kan brytas ner till specifika forskningsfrågor. På övergripande nivå är forskningsfrågorna:

- Vilka mervärden för kunden uppnås genom att integrera fordonet i det smarta hemmet?
- Hur ser en färdplan ut för att realisera fordonets funktionalitet?
- Hur kan staten genom stöd och (ibland ändrade) lagar stödja utvecklingen av laddbara fordon?

Förstudien har inte haft ambitioner att ha genomarbetade och tydliga svar på frågorna, utan de har mer varit vägledande för arbetet för att förstå vad som behöver göras.

4 Mål

Effektmålen med förstudien har varit att de:

- Stärker svensk fordonsindustris konkurrenskraft genom att kombinera elektrifierade fordon och uppkoppling och därigenom kunna erbjuda attraktiva funktioner.
- Främjar branschöverskridande samverkan.
- Främjar samverkan mellan industri, universitet, högskolor och institut.

Denna förstudie hade ambitionen att komma fram till följande resultat:

- Utarbeta scenarios för prosumenteras och fordonstillverkarens ekonomi
- Beskriva användningsfall och en plan för hur dessa kan verifieras i körsimulator
- Definiera gränssnitt (informationsflöden) mellan de olika delsystemen
- Skissartat beskriva regleralgoritmer för automatparkering och laddningsbalans samt en plan över hur de utvecklas och verifieras modellbaserat i t.ex. VICTA Lab
- Analys av hur Volvo Cars nuvarande plattformar av uppkopplingar mot "molnet" (tre olika varav en är levererad av Ericsson) sannolikt behöver förändras, samt starta en dialog med någon av de tre plattformslieferantörerna om att medverka i följande projekt
- Starta en dialog med eldistributionsföretag om medverkan i följande projekt
- Skapa ett eller flera projektförslag där delsystemen sätts ihop till en helhet och hur detta verifieras

⁶http://www.expowera.se/atkunna/explorativ_undersokning.htm

5 Resultat och måluppfyllelse

Det går förstås i detta läge inte att svara på om effektmålen uppnåtts eftersom effekterna kommer på sikt. Det har dock blivit tydligare under projektets gång att möjligheterna att nå dessa mål har ökat. Det är än mer uppenbart nu att området är angeläget för fordonsindustrin att arbeta med och har potential att stärka svensk fordonsindustri. Inga fundamentala problem som omöjliggör en kommersialisering av teknologin har påträffats även om många forskningsfrågor återstår. Denna förstudie har resulterat i att dialogen internt Volvo Cars har kommit igång vad som behöver göras, vilket är viktigt för den fortsatta utvecklingen och svensk konkurrenskraft. RISE har utökat sina kunskaper inom ett viktigt framtidsområde, och diskussioner pågår internt hur SEEL kan förberedas för kommande möjligheter och samverkan.

De flesta av resultaten som förstudien hade som ambition att nå har uppfyllts. Projektet har specifikt (se punktlistan i föregående kapitel):

- Utarbetat en beräkningsmodell för att kunna evaluera olika scenarion för prosumentens och fordonstillverkarens ekonomi.
- Beskrivit användningsfall och påbörjat arbetet med att ta fram en plan för hur dessa kan verifieras framöver. Både kör simulatorer och SEEL kan möjligen användas som steg i verifieringsarbetet, men planen för detta är ännu inte tydlig.
- Definierat gränssnitt och informationsflöden mellan de olika delsystemen, på någon nivå. Detaljerna lämnas till fortsättningsprojekt.
- Skissartat beskrivit det övergripande reglersystemet för automatparkering och laddningsbalans. Detaljer lämnas till fortsättningsprojekt.
- Projektet har delvis utfört arbetet med att ta fram en plan över hur regleralgoritmer utvecklas och verifieras i t.ex. VICTA-lab. Troligen kommer vi framöver att demonstrera möjligheterna direkt i skarpt läge mot användare.
- Genomfört en analys av Volvo Cars nuvarande plattformar för uppkopplingar mot "molnet". Projektet har inte startat en dialog med plattformslieferantörer om att medverka fortsättningsprojektet, eftersom det ännu inte är tydligt vad de externa behoven är.
- Projektet har kontaktat E.O.N, och Vattenfall och för en löpande dialog om medverkan i ett fortsättningsprojekt, se kapitel 7.11.
- Projektet har hittills resulterat i ett ansökt fortsättningsprojekt där betydelsen av olika energiförbrukande- och lagrande delsystem i hemmet avses analyseras. Det pågår för närvarande en riggning av huvuduppdraget som kommer att fortsätta även efter detta projekts slut. Huvuduppdraget kommer att innebära att en hel del användarfrågor rätas ut, förutom att tekniskt förbereda fordonet med rätt gränssnitt etc. i prosumenters ekosystem, se kapitel 7.11.

5.1 Leveranser

I ansökan fanns utöver målen även leverabler specificerade i de olika arbetspaketen. Nedan finns de listade tillsammans med en beskrivning över hur leverablerna har uppfyllts.

1. En sammanhållen ansökan för huvudprojektet eller en separat ansökan per delsystem. En ansökan har utarbetats för huvudprojektet och finns beskriven i kapitel 7.11.
2. Dokumenterade användningsfall. Användningsfall har tagits fram och finns beskrivna i kapitel 7.1.
3. Dokumenterat principerna för interaktionsdesignen av helautomatisk parkering och laddning. Interaktionsdesign har tagits fram och finns delvis beskriven i kapitel 7.1.

4. Planerade kundkliniker och utveckling av interaktionsdesignen.
Workshop har hållits och planerar användas som input inför framtida utveckling av interaktionsdesign.
5. Dokumenterat behov av sensorteknologier och hur de utvecklas.
Sensorteknologier för automatparkering har undersökts och finns beskrivna i kapitel 7.3.
6. Dokumenterad delsystembeskrivning.
Delsystemen finns beskrivna i kapitel 7.2.
7. Skissartad regleralgoritm för närområdes-navigering.
En algoritm har tagits fram och finns beskriven i kapitel 7.3
8. Verifieringsplan för delsystemet (refererar till helautomatisk detektering och navigering till parkerings- och laddplats).
En verifieringsplan har diskuterats och inledande diskussioner kring hur systemet kan verifieras i simulerad miljö har hållits. Mer finns beskrivet i kapitel 7.8.
9. Dokumenterad delsystembeskrivning (startsekvens och informationsutbyte mellan laddplats och fordon).
Informationsutbytet finns beskrivet i kapitel 7.3.
10. Skissartad regleralgoritm för start av laddning.
En enklare algoritm har tagits fram och finns beskriven i kapitel 7.4.
11. Dokumenterade nyckelparametrar avseende batteriers åldring.
De viktigaste parametrarna angående batteriernas åldring har diskuterats med experter inom Volvo Cars och finns beskrivna i Appendix C.
12. Dokumenterad delsystembeskrivning (refererar till laddningsbalans mellan bilens batteri, stationärt batteri och elförsörjning).
Delsystemen finns beskrivna i kapitel 7.2.
13. Skissartad regleralgoritm för optimal laddning av ingående batterier med avseende på livslängd och ekonomi.
En enklare reglerdesign har tagits fram och finns beskriven i Appendix A och B.
14. Verifieringsplan för delsystemet (refererar till laddningsbalans mellan bilens batteri, stationärt batteri och elförsörjning).
Ett fortsättningsprojekt har formulerats och ansökts, se kapitel 7.11.
15. Skissartad bild över informationsutbyten
En bild över hur informationsutbytet kommer ske har tagits fram i tillsammans med externa specialister och finns beskrivet i kapitel 7.6 och 7.7.

6 Spridning och publicering

Projektet har kontinuerligt under genomförandet aktivt tagit kontakt med och bjudit in aktörer, grupperingar, och experter som inte direkt tillhört projektet. Dessa har dels funnits inom de egna organisationerna men även externt.

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Projektets kunskaps- och resultatspridning finns beskrivet nedan i Tabell 1.

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Genom workshops har kunskapen förts vidare inte endast inom projektgruppen utan även externt. Artikeln <i>Automatically Charged Vehicles in the Prosumer's Ecosystem</i> har presenterats på E-Mobility Integration Symposium Stockholm 2018, se kapitel 6.2. Ett abstract har även skickats in till Electric Vehicle Symposium (EVS) 32, som äger rum i maj 2019 i Lyon, se kapitel 6.2.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Ett flertal nya projekt planeras som resultatet från den här förstudien.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Kunskapen från förstudien har förts vidare internt på Volvo Cars. Kunskap kring interaktion mellan laddutrustning och fordon används internt för nya arbetspaket.
Introduceras på marknaden		-
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		-

Tabell 1: Förstudiens kunskaps- och resultatspridning.

6.2 Publikationer och seminarier

Artikeln *Automatically Charged Vehicles in the Prosumer's Ecosystem* har presenterats på E-Mobility Integration Symposium Stockholm 2018⁷.

Det har även skrivits ett abstract till Electric Vehicle Symposium (EVS) 32, som äger rum i maj 2019⁸ i Lyon. Förhoppningsvis blir bidraget godkänt och resulterar i ett paper och presentation på konferensen.

Delar av ALPEN resultatet har även, eller kommer att, presenterats på följande seminarieevenemang:

- vid ett initiativseminarium den 13 september: Electromobility - Back to the future⁹, som även sänds på Kunskapskanalen den 2 och 3 november.
- vid SvD Energy Summit 2018 den 20 september¹⁰.
- vid Vehicle, Electronics and Connected Services, den 3 april 2018¹¹.

⁷ The 2nd E-Mobility Power System Integration Symposium to be held on the 15 October 2018 in Stockholm, www.mobilityintegrationsymposium.org

⁸ <https://evs32.org/>

⁹ <https://www.chalmers.se/sv/styrkeomraden/transport/evenemang/initiativseminarium%202018/Sidor/default.aspx>

¹⁰ <http://www.energysummit.nu/>

¹¹ <https://insightevents.se/vehicle-electronics-connected-services/>

7 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har genom gruppövningar och workshops skapat en samsyn kring kunskapsläget, vilka kunskapsluckor som finns och utifrån det arbetet identifierat ett antal nya projektförslag till fortsatt forskning. Slutsatserna från projektet har brutits ner i ett antal underkategorier för att skapa en bättre översikt, vilket redogörs för i det följande.

7.1 Användningsfall och interaktionsdesign

Så kallade personas för prosumenter togs fram genom en iterativ process i tvärvetenskapliga grupperingar för att försöka fånga så stor del av de viktiga parametrarna som möjligt. Arbetet ledde fram till ett antal antaganden om laddsystemsanvändaren vilka definierades enligt nedan.

- Som prosumenter vill jag kunna ladda mitt elfordon med min egen el som en del i mitt ekosystem.
- Som prosumenter vill jag ha en enkel laddning för att slippa använda sladd.
- Som prosumenter vill jag äga ett fordon drivet av fossila bränslen för att det är billigare.
- Som prosumenter vill jag alltid ha ett fulladdat fordon för att motverka räckviddsångest.
- Som prosumenter vill jag kunna styra när min laddning sker så att jag kan få billigast pris.
- Som prosumenter vill jag investera i solkraft och använda den elen hemma eller på en annan laddplats för drift av mitt elfordon.
- Som prosumenter vill jag ladda lite men ofta för att maximera livslängden på batteriet på mitt elfordon.
- Som prosumenter vill jag kunna skapa en laddning på ett sådant sätt att jag alltid får billigast pris.

Antagandena har sedan genom workshops omarbetats till ett antal användningsfall som vidare väglett specifikation och design i förstudien, se nedan.

1. Fordonet navigerar enligt samma principer som Googles självkörande fordon.
2. Laddning efterfrågas och fordonet navigerar helt automatiskt de sista 5 till 10 metrarna. Föraren är ansvarig för att verifiera att det är fritt fram att parkera. Under den här fasen kan föraren vara antingen i eller utanför fordonet. Systemet skall kunna hantera både att parkera publikt och vid hemmet.

7.2 Systemöversikt

För att tillmötesgå funktionaliteten som beskrivits i användningsfallen ovan behöver ett antal relativt nya tekniska delsystem kombineras till ett system-of-systems, vilket har påbörjats i den här förstudien. De olika funktioner/delsystem som ingår är:

- Helautomatisk detektering av och navigering till parkerings- och laddplats. Projektet kompletterar resultaten från DriveMe-projektet¹² med självkörande fordon i låga farter och utveckla regleralgoritmer för både öppna ytor och i lokaler dit GPS inte når, t. ex. i ett parkeringshus eller i ett biltransportfartyg.
- Helautomatisk laddning. Projektet fortsätter de studier som RISE Viktoria, Göteborgs stad, Volvo Cars, m.fl. gjort (t.ex. projekten WiCh¹³, SAWE¹⁴, Helautomatisk induktiv laddning¹⁵,

¹² <https://www.volvocars.com/intl/buy/explore/intellisafe/autonomous-driving/drive-me>

¹³ <https://www.viktoria.se/projects/wich>

¹⁴ <https://www.viktoria.se/projects/sawe-safe-wireless-energy>

¹⁵ <https://www.viktoria.se/projects/pre-study-demonstration-of-stationary-automatic-conductive-and-inductive-electric-vehicle>

Helautomatisk induktiv laddning¹⁶ etc.) och har börjat planera för att realisera en helautomatisk hemmaladdning.

- Smart laddning av fordonets batteri och det stationära batteriet hos prosumenten med avseende på laddningsstrategi för ekonomiskt optimal livslängd hos batterierna. Vi ämnar nyttja studier av batteriåldring vs. temperatur/laddström av enskilda batterier och överföra den kunskapen till regleralgoritmer för kombinationer av batterier.
- Block-kedjor respektive Internet-of-things där uppkoppling mot molntjänster möjliggör koordinering av transaktionsinfo (energi och betalningar) mellan olika energikonsumenter. Projektet har som utgångspunkt använt befintliga molnlösningar hos Volvo Cars och planerat vilka förändringar som behöver göras.
- Önskemål om att öppna upp eldistributionsnätet för att kunna överföra elenergi från peer-to-peer dyker oftare och oftare upp hos olika intressenter i samhället. Genom att tillåta prosumenten att överföra elenergi utan betydande transaktionsförluster¹⁷ öppnas en naturlig väg för samhället att introducera lagringskapacitet i elnätet för att på så sätt minska de negativa effekterna av den intermittenta produktionen som kännetecknar förnyelsebara energikällor såsom solceller eller vindkraft.

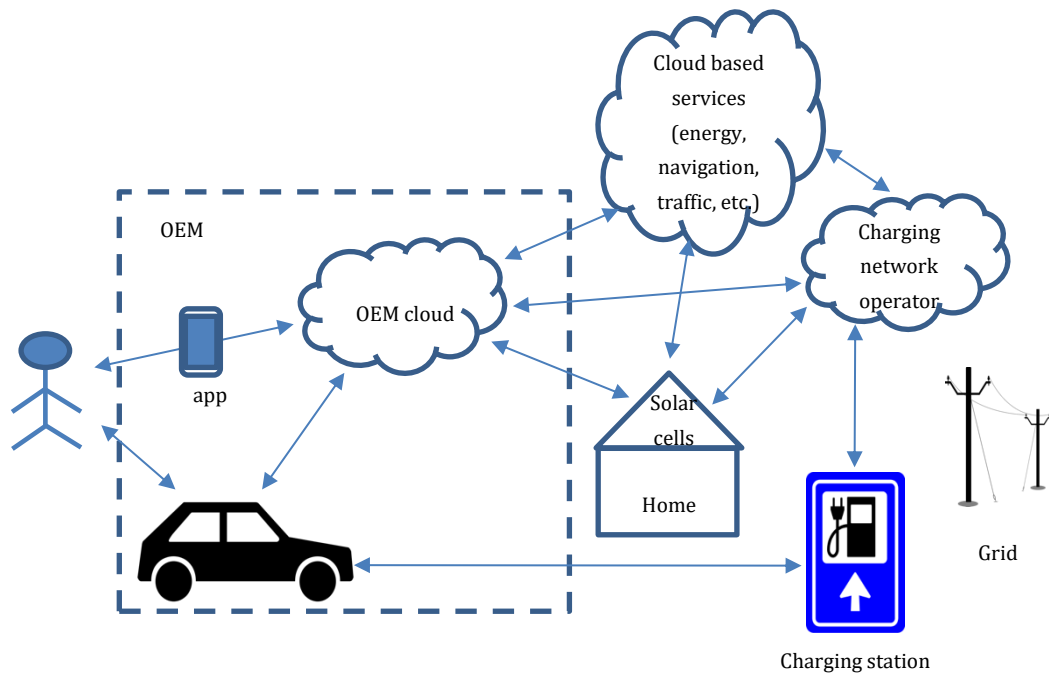
De olika delsystemen är var för sig relativt välbeforskade, se Tabell 2 nedan, men kombinationen i ett system-of-systems, (Figur 2), är inte undersökt.

Delsystem	Utvecklingsnivå
Helautomatisk detektering av och navigering till parkerings- och laddplats	Fordonstillverkare visar konceptlösningar
Helautomatisk laddning	Laddaren (induktiv) på väg att kommersialiseras men automatiken är ej fullt utvecklad
Samoptimering av fordonsbatteri och stationärt batteri för totalt sett maximal ekonomisk livslängd	Utveckling pågår, men lite tillgängliga offentliga data
Blockkedjor samt Internet-of-things	Tillgänglig teknik tillräcklig, men utvecklingen går snabbt framåt och dagens teknik riskerar att snabbt bli föråldrad
Öppna upp eldistributionssystemet för "peer-to-peer"-överföring	Långsam utveckling, långa investeringshorisonter och komplexa regelverk

Tabell 2: Utvecklingsnivå för ingående delsystem

¹⁶ <https://www.viktoria.se/projects/perccc>

¹⁷ idag kan prosumenten få betalt ett lågt pris för egenproducerad elenergi som skickas via distributionsnätet och betala ett högt pris för den elenergi som förbrukas vid någon publik laddpunkt



Figur 2: System-of-Systems, bestående av olika delsystem som bil, laddare, hem, distributionsnät etc.

7.3 Helautomatisk detektering av och navigering till parkerings- och laddplats

Projektet har beskrivit sensorbehovet vid så kallad öppen parkering vid villa samt vid sluten parkering i P-hus eller båt (då ingen person finns i fordonet). Grundantagandet har varit att människor eller djur samt fasta hinder inte får köras på. För att kunna göra det används två olika metoder för navigering. För navigering till parkeringsplatsen använder fordonet delvis molnbaserade data från andra fordon som parkerat på samma plats tidigare (fordonet får instruktioner från infrastrukturen om var den ska parkera). För att kunna göra det kan fordonet behöva tränas eller härma ett inspelat parkeringsbeteende på parkeringsplatser där inga andra fordon parkerat tidigare. Ett typexempel här skulle vara parkering vid hemmet som saknar parkeringsruta. I närmiljön runt parkeringsplatsen kommer fordonet till större del förlita sig på dess egna sensorer:

- IR
- Radar
- Lidar
- Ultraljud
- Kamera
- Ultra-Wideband – Time of Flight

Även laddinfrastrukturen har sensorer som kommer bidra till positioneringen. I fallet med laddning utan sladd, så kommer mottagaren i fordonet att kunna få information från laddinfrastrukturen, t.ex. vid resonant magnetisk induktiv laddning. Typiskt kommer sändaren exciteras med låg effekt och den magnetiska kopplingen till fordonet mäts och rapporteras tillbaka. Den så kallade magnetiska kopplingsfaktorn är viktig för att kunna verifiera att parkeringen är tillräckligt exakt för att kunna överföra energi med hög verkningsgrad och effekt. Laddinfrastrukturen kommer även ha sensorer för att kunna detektera objekt så som metall eller djur i närheten av laddutrustningen.

Tillsammans inom förstudien har projektparterna enats kring nedanstående punkter.

- Laddplattan och fordonet börjar kommunicera på ca 10 meters avstånd, och använder ett gemensamt koordinatsystem.
- Laddplattan kan vara nersänkt i asfalten, för att underlätta snöskottning/sopning.
- En standard för kommunikation och position (inom p-rutan) behövs.

En kvarvarande frågeställning är ifall det behövs en gemensam infrastruktur för alla P-hus för att guida fordonet till sin parkering, samt i så fall hur den bör se ut.

Prestandabehov sensorer

Med resonanta induktiva laddare finns det inget som förhindrar att laddaren sänks ner i eller till och med förläggs under ytbeläggningen på parkeringsplatsen. Snö, regn, gräs, löv och grenar är i sig inget hinder till effektiv laddning. Det är därför viktigt att designa för att systemet skall kunna vara diskret eller till och med vara osynlig med blotta ögat. Det är därför viktigt att de sensorer som finns i fordonet och/eller infrastrukturen tillsammans är tillräckliga för att guida fordonet till laddplatsen – oavsett om det sker manuellt eller automatiskt. För att det skall vara möjligt har projektet tagit fram prestandakrav för sensorerna som används för navigering i samband med laddningsförfarandet, vilka presenteras i Tabell 3.

Egenskap	Prestandakrav	Kommentar
Positionering, sensortyp	Måste vara okänslig för snö, regn, löv.	
Positionering, sensortyp	Måste kunna hantera laddutrustning som befinner sig under parkeringsplatsens ytskikt.	
Positionering, relativ position längdleds	± 75 mm	Leverantörer kan tillhandahålla relativ positionering med noggrannhet på 10 mm.
Positionering, relativ position sidled	± 100 mm	Leverantörer kan tillhandahålla relativ positionering med noggrannhet på 10 mm.
Position, relativ position, uppdateringsfrekvens	10 Hz	

Tabell 3: Prestandakrav för sensorer använda till navigering i anslutning till parkering.

I specialfallet med en manuell positionering av fordonet i kombination med en laddutrustning som lätt kan identifieras med blotta ögat kan en kamera monterad under fordonet vara tillräcklig för positionering. Dock ämnar den här lösningen sig sämre för laddutrustning utomhus i det nordiska klimatet på grund av t.ex. snöröjning.

Crowd sourcing av parkeringsinformation

Ett möjligt scenario för förbättring av den automatiska parkeringssekvensen kan vara att fordon delar med sig av information kring hur fordon som tidigare parkerat på en parkeringsplats gjort. Fordonets sensorer möjliggör sedan automatisk parkering baserat på tidigare inläring tillsammans med landmarks.

Navigationsstrategi och informationsutbyte mellan fordon och parkerings-, och laddplats

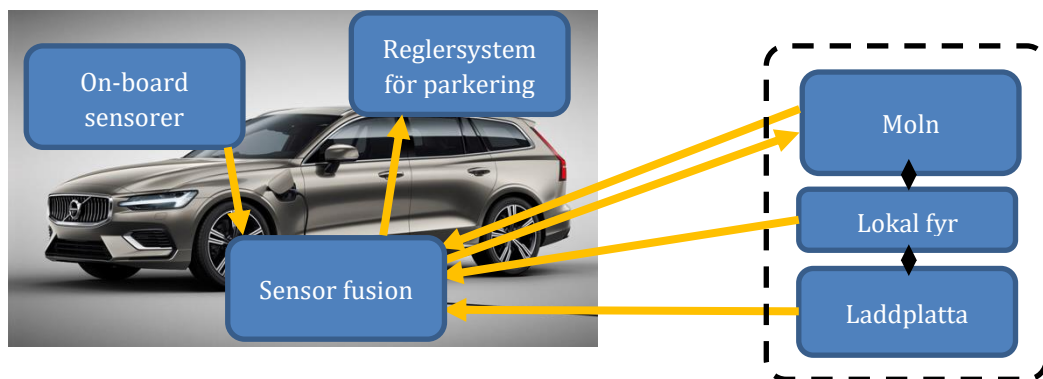
Ett system för att hitta lediga laddplatser är viktigt för att systemet skall kunna vara användarvänligt. Befintlig navigeringstjänst i fordonet kombineras med realtidsuppdaterad information från parkeringsplatser och laddplatser, se Figur 3. Informationen utvärderas av fordonet och en laddplats väljs därefter antingen manuellt eller automatiskt baserat på användarens preferens.

Autonom parkering kräver i sig en stor mängd data som t.ex.:

- Position
- Status, ifall parkeringsplatsen är ledig.
- Typ av parkeringsplats, exempelvis handikapparkering, familjeparkeringsplats eller motorcykelparkering.
- Storlek på parkeringsplatsen.
- Ytterligare begränsningar, exempelvis att ett speciellt parkeringstillstånd behövs
- Betalningsinformation, parkering

För autonom laddning bör laddplatsen utöver ovanstående generell information också tillhandahålla information kring laddningsförfarandet:

- Ifall parkeringsplatsen är utrustad med laddningsutrustning
- Typ av laddningsutrustning (exempelvis ifall parkeringsplatsen har stöd för induktiv laddning eller endast har konduktiv laddning och i så fall vilken Mode den stödjer; Mode 1, Mode 2, Mode 3, Mode 4)
- Laddeffekt
- Z-klassificering (en klassificering av det avstånd mellan den fasta laddutrustningen och bilens mottagare som laddaren klarar av i fallet med induktiv laddning).
- Betalningsinformation



Figur 3: Informationsflöde helautomatisk detektering av och navigering till parkerings- och laddplats.

7.4 Helautomatisk laddning

Autonom laddning innebär att fordonet automatiskt påbörjar laddning efter parkering utan att föraren manuellt behöver ansluta fordonet eller manuellt behöver betala för parkeringen och/eller laddningen.

Energioverföring

En automatiserad energioverföring kan ske antingen via ett robotiserat konduktivt anslutningsdon eller med hjälp av kontaktfri energitillförsel. Den här rapporten fokuserar främst på kontaktfri energitillförsel via induktion, men på forskningsstadiet finns även till exempel kapacitivt kopplad energioverföring som också skulle kunna lämpa sig för fordonsapplikationer.

Den här typen av laddningsutrustning kräver att fordonet är utrustad med en kompatibel mottagare samt positionerar sig korrekt över laddutrustningen innan överföringen kan starta. Utrustningen

som underleverantörerna för närvarande utvecklar kan överföra 3,5kW, 7kW eller 11kW beroende på typ.

Betalsystem

Dagens laddsystem har olika betalssystem beroende på vem som äger infrastrukturen och vilka system de köpt in. De kräver ofta olika medlemskap och betalning kan ske till exempel med betalkort, kreditkort, eller via faktura i efterhand. För att kunden skall kunna uppleva fullt automatisk laddning krävs att också betalningen sker automatiskt. Vid parkeringsförfarandet måste fordonet och infrastrukturen genomgå en handskakning där olika betalmodeller, medlemskrav och andra regler verifieras och godkänns innan laddningen kan starta.

Användaren av fordonet ställer in ett antal parametrar, dessa sparas i molnet och används senare av fordonet för val av parkeringsplats, laddeffekt, eller till exempel typ av energikälla. Grunden måste vara att det skall vara enkelt för användaren men samtidigt ge upphov till flera möjligheter för hur laddförloppet skall ske. RISE Viktoria tog i ELVIIS¹⁸ projektet fram ett antal exempel på inställningar:

- När fordonet skall vara färdig laddat.
- Minimigräns för hur laddat fordonet (för att kunna åka t.ex. till sjukhuset).
- Olika laddpreferenser som ladda så snabbt som möjligt eller enbart ladda grön el.

Det finns dock mycket frågeställningar kvar att utreda, t.ex. vad användarnas laddpreferenser egentligen är och hur gränssnittet bör se ut. Detta kommer bl.a. att utredas i kommande fortsättningsprojekt.

Betalsystemet i sig kan utformas relativt enkelt, men i praktiken kan det här visa sig vara en svår balansgång för fordonstillverkaren. Exempel på frågeställningar är till exempel:

- Hur ska fordonet göra val mellan olika parkeringsplatser med olika betalmodeller och kostnader? I dagens system gör föraren ett aktivt val mellan hur mycket de vill betala och hur nära sin destination de vill parkera. I ett framtidsscenario skulle fordonet mycket väl kunna släppa av sina passagerare vid till exempel flygplatsen för att sedan köra hem och parkera på den egna garageuppfarten.
- Hur skall fordonet hantera de stora variationerna i kostnader som finns mellan olika parkeringsplatser? Även kostnadsmedvetna personer väljer ibland betala extra mycket för parkering vid exempelvis event eller kommunikationsnav även ifall de normalt sett inte skulle betala så mycket för en parkeringsplats.
- Hur skall fordonet hantera mer exotiska kostnadsmodeller? Många parkeringsplatser är gratis initialt för att sedan kräva en högre timkostnad.

7.5 Laddningsbalans mellan fordonets batteri, stationärt batteri, och elnät

Genom att integrera elfordonets batteri tillsammans med, inte bara elnätet, utan även egen-genererad el från till exempel solceller och eventuell stationär lagring erhålls ett system som kan vara attraktivt för prosumenter.

Normalt kopplas elfordon in till elnätet när de 'kommer hem från jobbet' och laddning sker omedelbart. Det finns då en risk att lokalt överlasta elnätet. På samma sätt kan el producerad från förnyelsebara källor leda till ett överskott på el som därmed inbringar ett lågt försäljningspris. Med fordon som automatiskt kopplar upp sig på elnätet kan solcellerna användas till att ladda fordonets batteri alternativt ett stationärt batteri. Energin kan även lagras termiskt genom att till exempel använda ett överskott till att värma eller kyla huset lite extra alternativt att värma varmvattentankar.

¹⁸ <https://www.viktoria.se/projects/elviis>

För prosumenten kan det här leda till bättre ekonomi och för samhället ett mer effektivt och robust elsystem. Förstudien har tagit fram ett embryo till reglersystem för laddningsbalans vilket kan ses i appendix A och B.

7.6 Peer-to-Peer energi

Ett intressant specialfall för laddningsbalansen mellan elnät och elfordon fås då hemmet är försett med solceller men fordonet är anslutet till elnätet vid annan plats. Prosumenten kan då, trots det geografiska avståndet, vilja ladda fordonet med lika mycket energi som solcellerna genererar vid en given tidpunkt och bara vilja betala för elnätskostnaden. Genom att tillåta prosumenten att överföra elenergi öppnas en naturlig väg för samhället att introducera lagringskapacitet i elnätet för att på så sätt minska de negativa effekterna av den intermittenta produktion som kännetecknar förnyelsebara energikällor såsom solceller eller vindkraft.

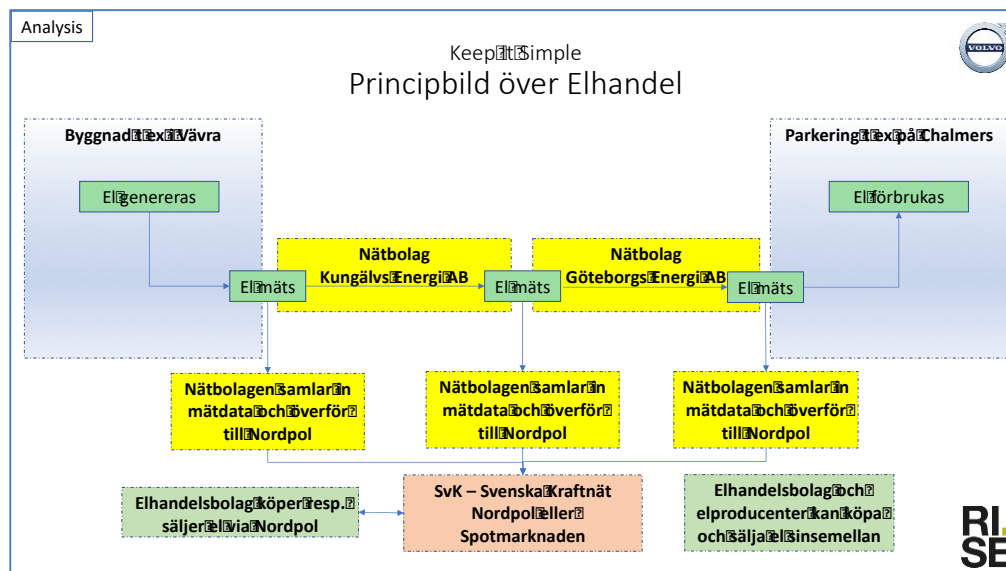
Ovan kräver utöver en snabb respons från regulatören även eventuellt nya krav på regelverken kring försäljning av el. Tre inledande diskussioner med elkraftbranschen har tagits. Parterna vid diskussionerna kan ses i Tabell 4:

Part	Medverkande
Chalmers	Ola Carlson (Biträdande professor vid Elkraftteknik) ¹⁹
E.ON.	Staffan Sjölander (tidigare projektledaren för SIMRIS ²⁰)
Vattenfall	Christian Gruffman, Magnus Berg, Colin Stewart (forskare)

Tabell 4: Parter i diskussioner inför framtida projekt

Frågeställningar med tillhörande svar som berördes under intervjuerna var:

1. Vilka aktörer blir inblandade om vid överföring av elenergi från en godtycklig punkt till en annan? Aktörerna sammanfattas i den förenklade principbilden som visas i Figur 4.



Figur 4: Förenklad principbild över elhandeln.

¹⁹ <https://www.chalmers.se/sv/personal/Sidor/ola-carlson.aspx>

²⁰ <https://www.eon.se/om-e-on/innovation/lokala-energisystem/vi-pa-simris.html>

2. Hur och varför måste aktörer enligt fråga 1 bli involverade?

Ingen gav någon speciell anledning till att inte befintliga aktörer eller befintligt upplägg skulle fortsätta att gälla. Dagens systemupplägg är utmejslat för att upprätthålla kvaliteten i eldistributionen. Dock, Vattenfall påpekade att det i vissa länder redan förekommer att prosumenter överför egenproducerad el via eldistributionsnätet. E.ON nämnde att det planeras ett projekt "SvK-projekt 2020" som syftar till att ytterligare centralisera mätvärdesinsamling.

3. Vilka informationer måste samlas in i elproduktionspunkten, respektive i elförbrukningspunkten?

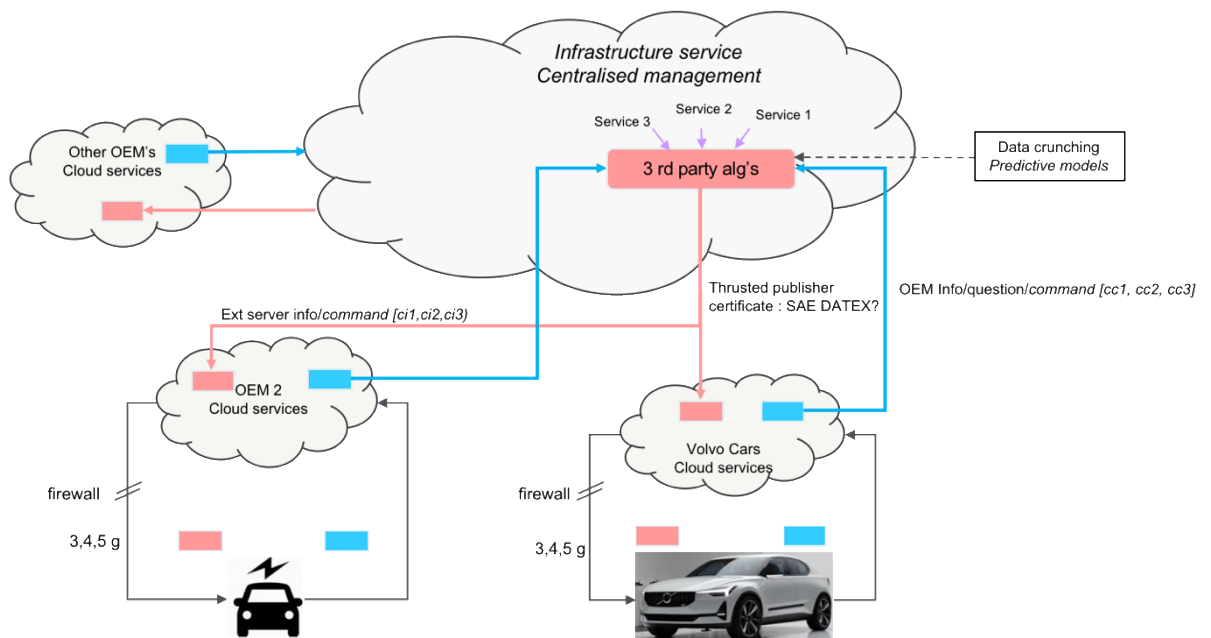
Enkla parametrar såsom effekt, energi, tid, etc. samlas in i mätpunkterna. Vattenfall är särskilt intresserade av informationsutbytet mellan fordon och överordnat system i laddningspunkten.

4. Hur ser ni att eldistributionssystemet påverkas av prosumenter med laddbara fordon, egengenererad el och batterilager?

Eldistributionsnäten påverkas av elektrifierade fordon, egenproducerad el och batterilager. Dock, påverkan är enkelt hanterbar enligt både E.ON och Vattenfall.

7.7 Kommunikationsstrategi

Den här typen av system-of-systems kräver nya kommunikationsvägar och riskerar därmed att öppna upp fordonet för externa hot via IT-miljön. För att säkerheten skall kunna garanteras kommer därför så mycket som möjligt av informationsflödet routas via en säkrad accesspunkt, se Figur 5 för olika informationsmängder schematiskt beskriven av olika molnstrukturer.



Figur 5: Informationsflöde externa tjänster. Olika aktörer lagrar sin information på olika ställen, vilket schematiskt visas genom olika molnstrukturer. Informationsutbytet måste ske säkert och känslig information måste skyddas, vilket sker via säkrade accesspunkter.

7.8 Verifiering i simulator

En skissartad plan för modellbaserad verifiering t.ex. i VICTA-lab togs fram för att i ett tidigt skede kunna identifiera hur olika designparametrar och begränsningar interagerar med fordon och förare. Exempel på de processer som en simulering i labbmiljö bör innehålla finns listade i det följande:

- Val av laddplats
 - Laddplattan kommunicerar med fordon via radio eller moln
 - Status ledig/upptagen
 - Effekt, pris, övriga begränsningar
 - Teknisk kompatibilitet
 - Fordonet väljer plats.
- Automatisk parkering
 - Fysisk säkerhet, fordonet får inte köra på någon eller något under navigationen till laddningsposition.
 - Koordinater till tillgänglig laddplats
 - Parkering/positionering över laddplattan
 - Överlämning mellan olika sensorer/system och laddsystem
 - Sensor-fusion mellan on-board och off-board sensorer

Genom att använda den modellbaserade simuleringsmiljön i VICTA-lab ges möjlighet att i ett tidigt skede identifiera designparametrar och faktorer som är viktiga för att dels rent tekniskt kunna uppnå helautomatisk laddning, men kanske viktigare att processen upplevs säker, robust och mogen. Faktorer som kan undersökas är till exempel hur olika kommunikationsavstånd, uppdateringsfrekvenser och tidsfördröjning i kommunikationen mellan infrastruktur och fordon påverkar laddningsförfarandet. Ett annat viktigt område är hur överlämning av information mellan sensorer och infrastruktur bör utformas.

7.9 Prosumentens ekonomi och koldioxidbelastning

Ett ramverk för uppskattning av prosumentens, företagens och statens ekonomi över tid har tagits fram. Basen i beräkningarna är olika scenarion för migration från förbränningsmotorbilar (ICEs) till elektrifierade bilar (Electric Vehicles and Hybrid Electric Vehicles - EV/HEVs). Indata till beräkningarna framgår av Appendix D. Med utgångspunkt från de här uppskattningarna har ett antal framtidsprognoser tagits fram;

1. Ackumulerad kostnad för prosument vid storskalig produktion av el eller egenproducerad el (laddning hemma eller via peer-to-peer)
2. Ackumulerad skatteintäkt för staten vid storskalig produktion av el eller egenproducerad el (laddning hemma eller via peer-to-peer)
3. Total skatteintäkt för staten samt koldioxidutsläpp för tre scenarion:
 - a. Migration från ICE-bilar till EV/HEVs med dagens takt
 - b. Snabbast tänkbara migration från dagens ICE-bilar till EV
 - c. Snabbast tänkbara migration från dagens ICE-bilar till HEV

Preliminära resultat tyder på att det under vissa förutsättningar, till exempel att prosumenten inte behöver investera i batteribackup, är ekonomiskt fördelaktigt för en prosument att ladda en elbil med egenproducerad el från solceller jämfört med att äga en fossilbränsle driven bil.

Resultaten tyder också på att statens skatteintäkter från fordon med dagens skattemodell kommer sjunka vid en övergång till ett samhälle med eldrivna fordon som laddas med egenproducerad el.

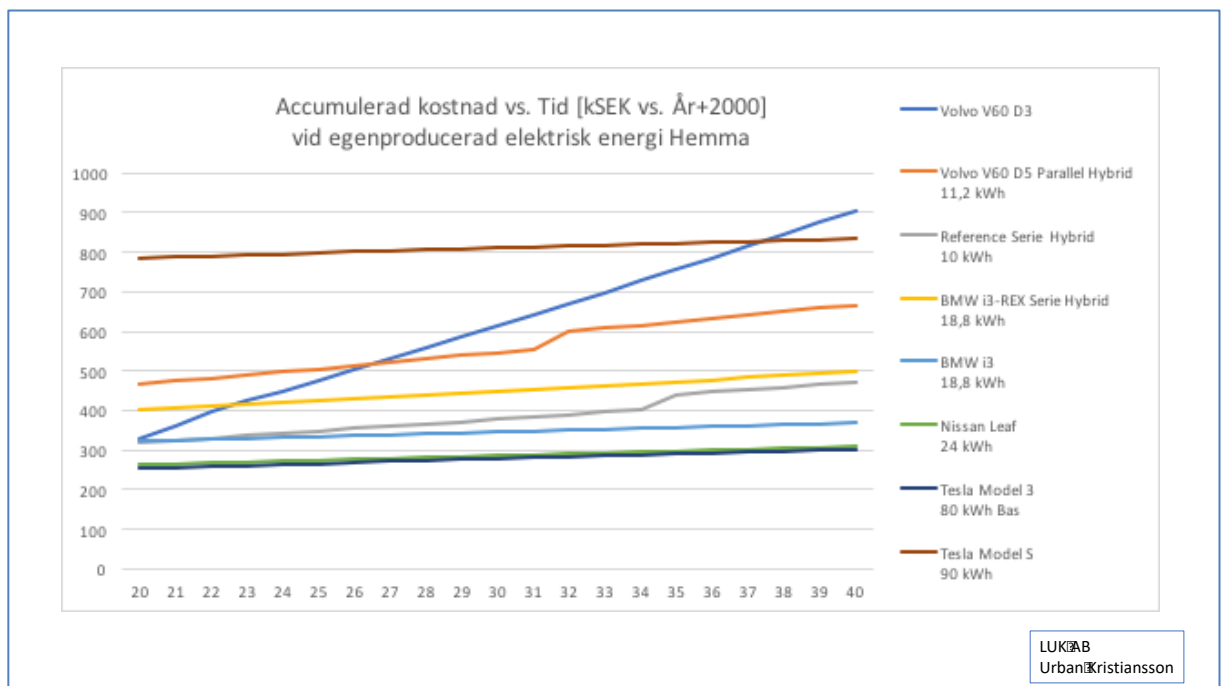
Scenario för prosumerten och statens ekonomi

En modell har utarbetats för beräkning av prosumertens, företagens och statens ekonomi vs. tid. Basen i beräkningarna är scenarios för migration från förbränningsmotorbilar (ICEs) till elektrifierade bilar (EV/HEVs). Eftersom även miljöbelastningen från bilarna är viktigt (särskilt för prosumenter och staten) beräknar programmet även koldioxidbelastningen vs. tid. Indata för beräkning av ekonomin framgår av Appendix D²¹. Exempel på utdata från beräkningarna är:

- Ackumulerad kostnad för prosumert vs. tid vid storskalig produktion av el eller egenproducerad el (hemma eller på distans).
- Ackumulerad skatteintäkt för staten vs. tid vid storskalig produktion av el eller egenproducerad el (hemma eller på distans).

Kostnad för bilkund vs. tid.

Figur 6 exemplifierar ackumulerade kostnader för en prosumerts bilinnehav som producerar sin egen elenergi hemma (dvs utan distributionskostnader). De förutsättningar och parametrar som används framgår av texten nedan samt Appendix D.



Figur 6: Ackumulerad kostnad för bil vs. tid vid egenproducerad el hemma.

Vid beräkningarna för Figur 6 har antagits att batterikostnaden motsvarar bästa dagspris för batterier och är satt till ca \$200 /kWh för komplett system, samt att batteriet klara 4000 urladdningar ner till DoD (Depth-of-Discharge) 80%. Beräkningar enligt Figur 6 är gjorda för tre alternativa elenergiproduktioner, nämligen storskalig elproduktion, egenproducerad el hemma respektive egenproducerad el på distans. Skillnaderna i energikostnaderna för prosumerten blir små och definitivt är de väldigt små relativt inköpspris skatter och försäkringar för själva fordonet.

Notera att syftet med beräkningen är enbart att ge en känsla av hur stora de löpande kostnaderna för prosumerten är under 20 år (dvs investeringar i elenergianläggning är ej medtagen, investeringar behandlas separat i texten nedan).

²¹ Notera att ett helt orealistiskt pris har använts för Tesla Model 3, i verkligheten måste priset vara mer än det dubbla för att affären skall gå ihop för biltillverkaren.

Resultatet av beräkningarna anges i Tabell 5.

	Nissan Leaf 24 kWh	Tesla Model S 90 kWh
Storskalig produktion av elektrisk energi	350	893
Egenproducerad elektrisk energi hemma	310	834
Egenproducerad elektrisk energi - remote	321	850

Tabell 5: Totala kostnader [kSEK] för 20 års användning av två olika elbilsalternativ

Som framgår av Tabell 5 är vinsten efter 20 år med att använda "egenproducerad elenergi hemma" jämfört med "Storskalig...energi" 40 kSEK för Nissan Leaf respektive 59 kSEK för Tesla Model S.

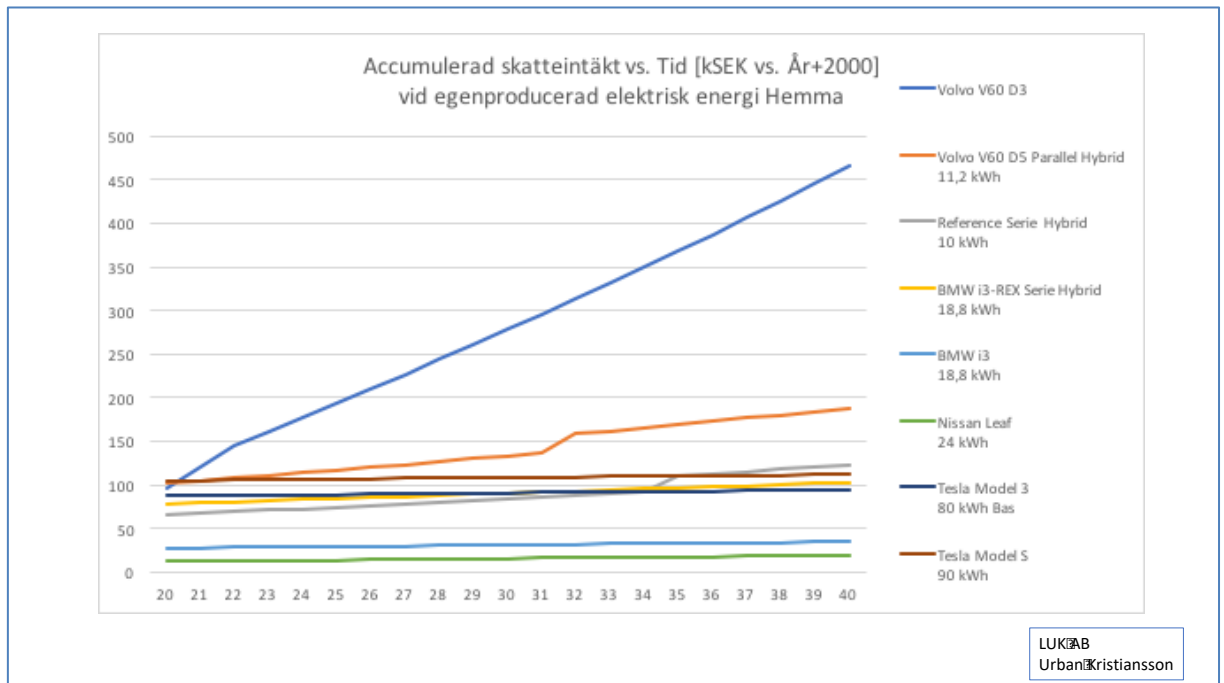
Angående investering i solcellsanläggning; I ovanstående exempel antages att Nissan Leaf i medeltal förbrukar ca 5 kWh/dygn och en Tesla Model S i medeltal ca 7 kWh/dygn. Om vi för enkelhets skull antar att en solcellsarea om 1 m² i snitt producerar ca 140 kWh/år och att priset för prosumenten är 1,5 kSEK/m² så behövs ca 13 respektive 18 m² solceller för respektive bil, dvs en kostnad om ca 19,5 respektive 27 kSEK för Nissan Leaf respektive Tesla Model S. Med andra ord, med förutsättningar enligt ovanstående exempel, är det sannolikt ekonomiskt försvarbart att investera i en solcellsanläggning enbart för att driva sin elbil.

Övriga observationer till Figur 6 är:

- Om två transportmässigt likvärdiga bilar jämförs (Volvo V60 D3 respektive V60 D5 Parallell Hybrid), blir HEVs billigare för prosumenten efter ca 6 år. Ett snarlikt resonemang gäller om t ex Nissan Leaf jämförs med en likvärdig ICE. Med andra ord, sannolikt är dagens Bonus/Malus ej tillräckligt för att signifikant svänga mot fossiloberoende bilar.
- Data för Volvo V60 D3 är relativt precis för en ca 3 år gammal bil. Även data för Volvo V60 D5 Parallell Hybrid med 11,2 kWh batteri är relativt precis. Dock, denna bil lanserades 2012 och är som konstruktion ca 10 år gammal. Båda bilarnas kurvor skulle sjunka om de nydesignades idag, dock, skulle sannolikt V60 D5 Parallell Hybrid sjunka mer vilket antyder att de bådabilmodellerna börjar närma sig varandra så att det är ekonomiskt försvarbart att köpa Hybrid.
- "Knicken" år 2022 på kurvan för Volvo V60 D3 kommer sig av att Malus upphör tre år efter inköp.
- "Stegen" år 2031 respektive 2034 för Volvo V60 D5 Parallell Hybrid respektive Reference Serie Hybrid 10 kWh kommer sig av att batterierna byts pga. teoretisk livslängd. Detta kommer med all sannolikhet inte att ske i ett verkligt utfall (få har lust att köpa nytt dyrt batteri enbart för att batteriet blivit aningen sämre).
- För Tesla Model 3 80 kWh Bas har antagits det pris som Tesla angivit i USA om ca k\$35. Obs, med detta pris kommer OEM+dealer att förlora ca 160 kSEK/bil även med beaktande av bonus om 60 kSEK. Med andra ord, Tesla Model 3 måste säljas för väsentligt mer än k\$35 (ca k\$60 i snitt) för att överhuvudtaget vara lönsam (överleva).

Skatteintäkter för staten vs. tid.

Figur 7 exemplifierar ackumulerade skatteintäkter för staten om bilägaren producerar sin egen elenergi hemma (dvs utan distributionskostnader). Notera att den beslutade indexerade förändringen av bensin-/dieselskatten om 2%/år ingår i Figur 7 och Figur 8.

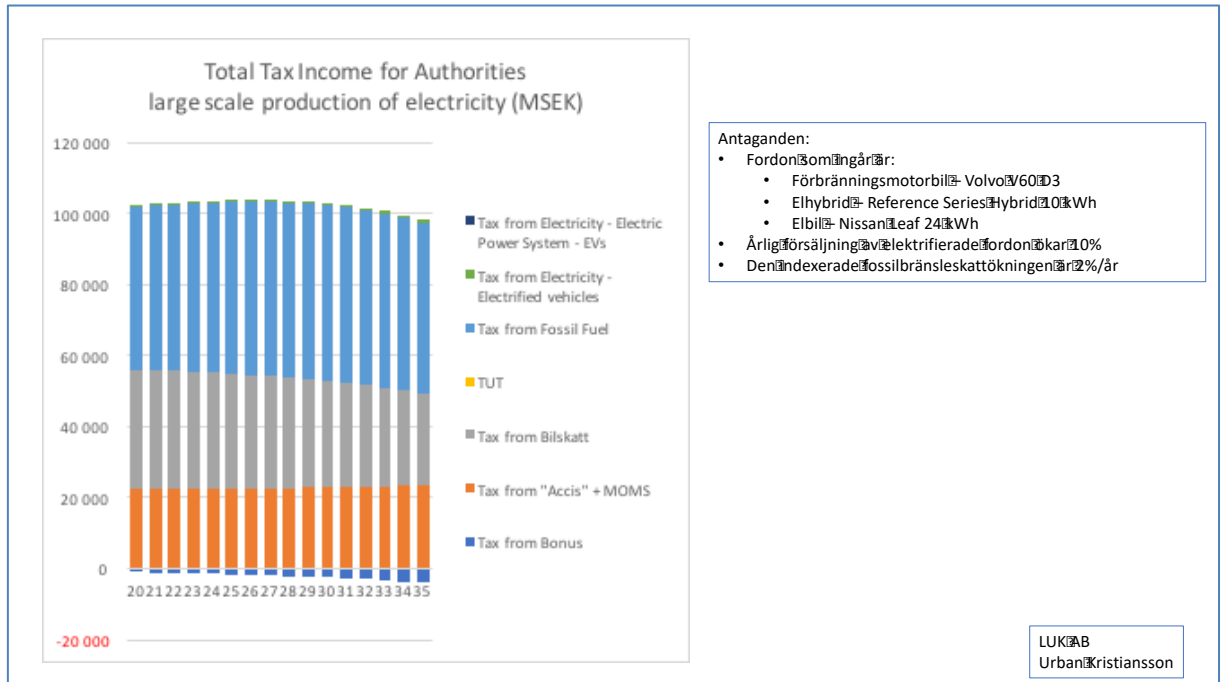


Figur 7: Ackumulerad skatteintäkt per fordon vid egenproducerad elenergi hemma.

Inte oväntat sjunker statens skatteintäkter drastiskt vid elektrifiering av bilflottan. Å andra sidan förväntas indirekt minskade statsutgifter pga. bilarnas skadeverkningar på miljön. Dock, att byta ut förbränningsmotorbilar mot elektrifierade bilar är en mycket långsam process. Om vi antar att försäljningen av elektrifierade bilar ökar 10%/år så har nybilsförsäljningen av förbränningsmotorbilar upphört först om ca 30 år. Staten har med andra ord gott om tid att justera skatteuttaget för att kompensera för skattebortfallet till följd av elektrifiering av bilarna. Ett scenario är att staten under den 30-åriga migrationen:

1. Under 2020-talet höjer Malus gradvis.
2. Under 2030-talet höjer den indexerade förändringen av bensin-/dieselskatten.
3. Under 2040-talet höjer elskatten.

Figur 8 visar totala skatteinkomsten för staten om nyförsäljningen av elektrifierade fordon ökar 10%/år från och med 2020.



Figur 8: Total skatteinkomst från fordon.

Några observationer till Figur 8 är:

- Inklusive den indexerade ökningen om 2%/år av bensen-/dieselskatten beaktas så ökar "Tax from Fossil Fuel" knappt 2 Miljarder SEK från år 2020 till 2035. De blå staplarna blir i stort sett konstanta över åren i detta fall.
- Bilskatten sjunker till följd av att Malus får allt mindre påverkan när de elektrifierade fordonen ökar.
- Accis²² och moms stiger svagt pga. att produktkostnaden är högre för de elektrifierade fordonen.
- TUT (The Unknown Tax) är enbart med som förberedelse för att enkelt kunna simulera eventuella nya skatter som tillförs när de elektrifierade fordonen börjar bli signifikanta till antalet.

Som summering är det inte alltför vågat att påstå att ur ett ekonomiskt perspektiv har staten positionerat sig väl åtminstone för åren upp mot 2040 (om det är politiskt möjligt kan staten enkelt höja Malus eller den indexerade bensen-/dieselskatten för att kompensera för skattebortfall). Dessvärre missar man fokus på att minska koldioxidbelastningen.

²² <https://sv.wikipedia.org/wiki/Accis>

7.10 Fortsatt forskning

Projektet har dels jobbat internt men även tagit hjälp av externa experter för att bättre kunna samverka inför framtida projekt.

Externa diskussioner

Externa diskussioner har förts med Chalmers, Vattenfall och E.ON. som har följande primära intresseområden för framtida projekt.

- Går det att kombinera tankarna enligt ALPEN med projekt SIMRIS?
- Hur ska laddningen effekt- och tidsmässigt styras för att slippa säkra upp effekt i elnätet?
- Kan elbranschen nyttja fordonets batteri som energilager?

7.11 Fortsättningsprojekt

Den här förstudien har lett fram till flera nya konkreta projektförslag:

1. Ekonomi och koldioxidbelastning för elektrifieringsscenarion

Projektet belyser ekonomi och koldioxidbelastning för olika elektrifieringsscenarios. Syftet är att mer noggrant beräkna ekonomi för konsument, OEM och stat samt koldioxidbelastning för olika elektrifieringsscenarion. Projektet är inlämnat till ett av Energimyndighetens utlysningar.

2. Prosument "ALPEN 2"

I dagens laddsystem hanteras hemmet och fordonet var för sig som separata enheter. Det här fortsättningsprojektet avser implementera lösningar för smart laddning i hemmiljö och eventuellt vid laddning på publika platser. Ett första skott kommer att vara hur det går att få bilen att ladda smart, med enbart information om ett hus historiska effektförbrukning. Framtida energiförbrukning kommer att predikteras med hjälp av intelligenta algoritmer (AI) och det kommer att utvärderas vad besparingspotentialen är. Mer information kommer sedan att införas i systemet för att förbättra prediktionen ytterligare. Projektet är under riggning och centralt är frågeställningar kring användares preferenser och laddval.

3. Energioptimering av hushåll och närområde inkluderande småskalig elproduktion, energilager och elbilsaddning

Småskaliga installationer av solceller inom bostadsområden ökar och vid en bred utbyggnad av mikroproduktion ställs nya krav på det lokala elnätet. Det handlar dels om att hantera den producerade effekten som matas in eller ut från en transformatorstation, dels om att kunna hantera spänningstransienter när solen börjar lysa alternativt går i moln. En sådan förändring i solinstrålning påverkar elproduktionen från solcellerna i närområdet drastiskt under kort tid, vilket dagens lokala elnät på många platser inte är dimensionerat för att hantera, och samtidigt hålla el kvalitén inom fastställda ramar. Dessa problem leder till att mikroproduktionen behöver begränsas, alternativt att kostsamma investeringar i nätinfrastruktur krävs, såvida en bred introduktion av mikroproduktion inte kombineras med smart styrning av diverse olika elektriska laster i det lokala elsystemet.

Projektet syftar till att undersöka hur stor utbyggnad av mikroproduktion dagens lokala elnät kan hantera, både med och utan aktiv styrning av de elektriska lasterna inom hushållet. Vidare ska det undersökas hur stora energilager som förväntas behövas vid olika grad av förnybar mikroproduktion under kravet att elnätets stabilitet ska bevaras. Detta är viktigt för ett så stort

och effektivt införande av förnybar mikroproduktion i elsystemet. Det är även viktigt att öka förståelsen hur kravet på mängd behövd energilagring påverkas av smart styrning av hushållets olika komponenter, inklusive eventuell elbilsladdning inom bostadsområdet.

Projektet har skickats som förslag till en utlysning på Energimyndigheten. Partners i projektet är RISE Viktoria, Linköpings universitet, Linköpings lokala energibolag Tekniska Verken samt Volvo Cars.

4. Förbereda SEEL för framtida projekt

En del av utvecklingen av smarta hemlösningar verifieras med fördel i SEEL. Det har därför lämnats in en ansökan till Energimyndigheten att förbereda SEEL där solpaneler, smart styrning, och laddning är viktiga komponenter.

5. ELEVATE: User experience för prosumenter

RISE, Volvo Cars och Halmstad högskola håller på att rigga en användarstudie där prosumenter står i centrum. I denna studie kommer en doktorand engageras så att Sverige fyller på med framtida kompetens inom ett angeläget område.

8 Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektet har bestått av parterna RISE Viktoria och Volvo Car Corporation.

8.1 RISE Viktoria

RISE är Sveriges forskningsinstitut och innovationspartner. I internationell samverkan med företag, akademi och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. Våra 2 300 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. RISE är ett oberoende, statligt forskningsinstitut som erbjuder unik expertis och ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidsäkra teknologier, produkter och tjänster.

RISE Viktoria startades 1997 på initiativ från den lokala industrin i västra Sverige för att bedriva forskning och utveckling inom ICT i samverkan med industrin, den publika sektorn och universitet. Målet är att hjälpa svensk fordons- och transportindustri uppnå hållbar utveckling och tillväxt. RISE Viktoria har fem applikationsområden; kooperativa system, digital innovation, electromobility, hållbara affärer och hållbara transporter.

Kontaktperson: Stefan Pettersson, stefan.pettersson@ri.se, +46 (0)70 225 5060

8.2 Volvo Car Corporation

Volvo har tillverkat bilar sedan 1927. I dag är Volvo Cars ett av de mest välkända och ansedda bilmärkena i världen med en försäljning på 571 577 bilar i över 100 länder 2017. Volvo Cars ägs sedan 2010 av kinesiska Zhejiang Geely Holding (Geely Holding). Volvo Cars utgjorde en del av svenska AB Volvo fram till 1999 då företaget köptes av amerikanska Ford Motor Company. 2010 köptes Volvo Cars av Geely Holding.

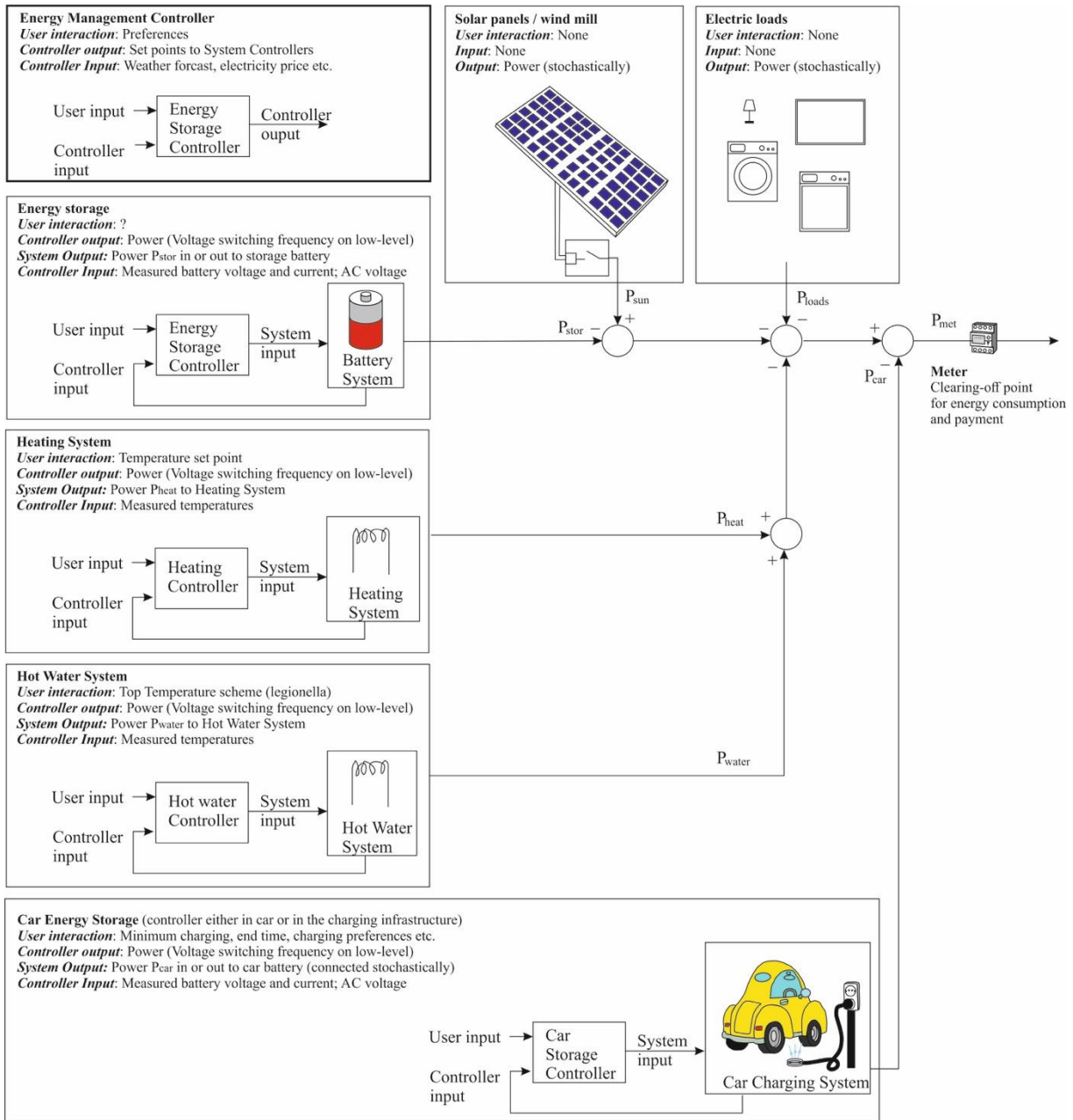
Under 2017 hade Volvo Car Group i genomsnitt 38 000 (30 400) heltidsanställda medarbetare. Volvo Cars huvudkontor och produktutvecklings-, marknadsförings- och administrationsavdelningar finns i huvudsak i Göteborg. Volvo Cars kinesiska huvudkontor ligger i Shanghai. Företagets huvudsakliga bilfabriker finns i Göteborg, Gent (Belgien) och Chengdu och Daqing (Kina), medan motorerna tillverkas i Skövde och Zhangjiakou (Kina) och karosskomponenter i Olofström.

Kontaktperson: Robert Eriksson, robert.eriksson@volvocars.com, +46(0)733330284.

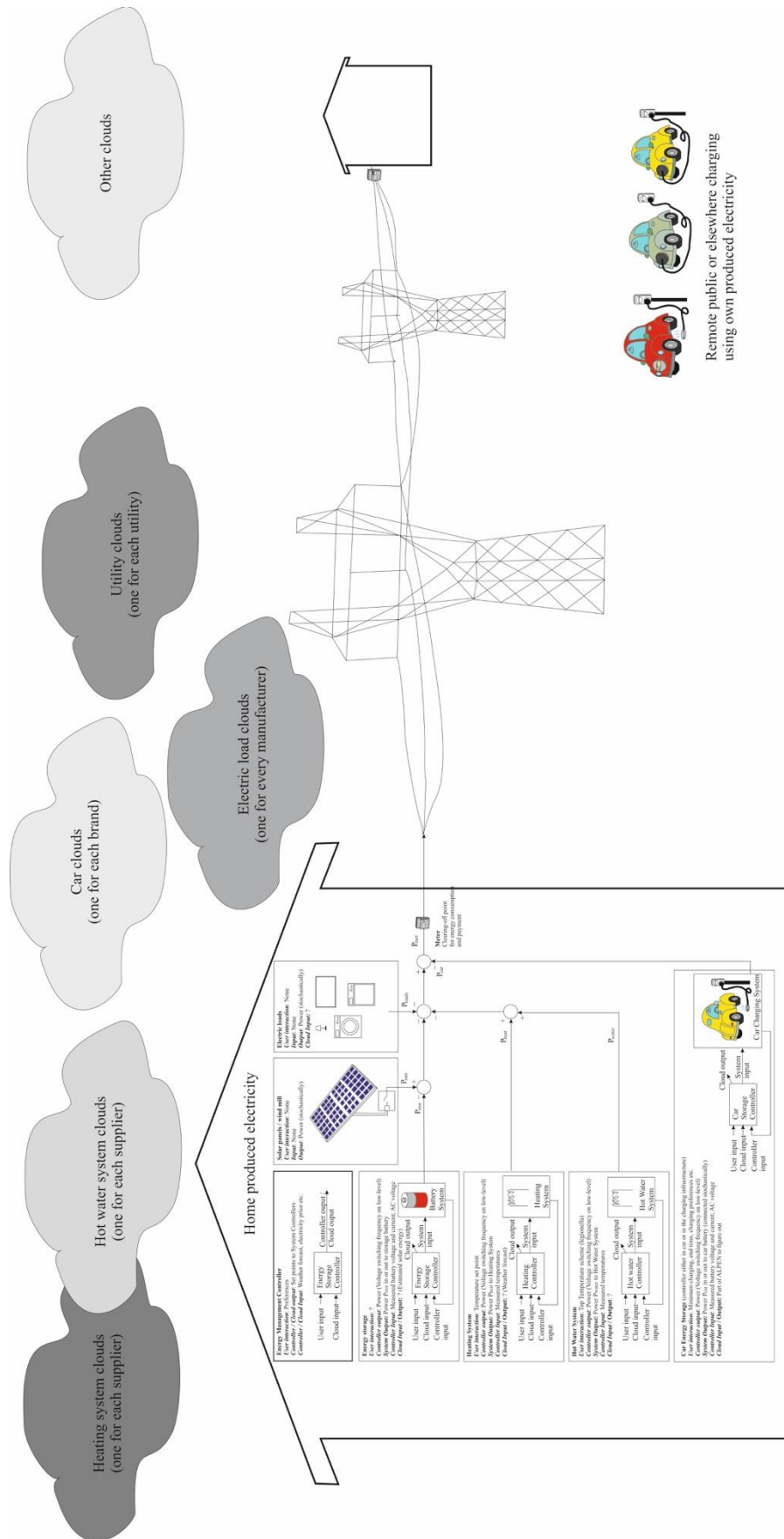
9 Referenser

- [1] [Trends 2016 in photovoltaic applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2015. Report IEA PVPS T1-30:2016.](#)
- [2] Det klimatpolitiska ramverket. Regeringskansliet 2017. <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>
- [3] [Energiläget i siffror 2017](#). Statistik från Energimyndigheten.
- [4] <http://www.svk.se/>
- [5] Expect the Unexpected - The Disruptive Power of Low-carbon Technology. Grantham Institute, Imperial College London. February 2017. www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/grantham-institute/public/publications/collaborative-publications/Expect-the-Unexpected_CTI_Imperial.pdf
- [6] Johan Kristensson. Efter solceller – Ikea kan börja sälja elbilsaddare. NyTeknik 2018-11-01. <https://www.nyteknik.se/energi/efter-solceller-ikea-kan-borja-salja-elbilsaddare-6937498>
- [7] Commission Staff Working Document, Towards clean, competitive and connected mobility: the contribution of Transport Research and Innovation to the Mobility Package, SWD(2017) 223 final. <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/swd20170223-transportresearchandinnovationtomobilitypackage.pdf>
- [8] <http://www.wich.se/>
- [9] Tesla – Energi. https://www.tesla.com/sv_SE/energy
- [10] Toyota Home to Release Smart House, Collaboration between House and Vehicle. 2012. https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id031604.html
- [11] Nissan Energy Solar 2018. <https://www.nissan.co.uk/experience-nissan/electric-vehicle-leadership/xstorage-by-nissan/solar-energy-storage.html>

Appendix A: Reglersystem ALPEN vid hemmaladdning



Appendix B: Reglersystem ALPEN vid extern laddning



Appendix C: Nyckelparametrar batteriåldring

Battery degradation influence

	Battery Usage*	Degradation
1	Driving distance (week/weekend)	Energy throughput
2	Driving cycles	C-rate
3	SOC window	DOD
4	Charging behavior	SOC levels
5	Charging protocol (normal/fast charging)	C-rate & SOC levels
6	Temperature (driving/charging/parking)	Temperature & SOC levels

1 Driving distance – energy throughput

+ less driving

- More driving

2 Drive cycles – C-Rate

+ low acceleration rate, seldom high speed driving

- High dynamic driving, often high speed driving

3 SOC Window - DOD

+ high SOC high/low margins

-

4 Charging behavior – SOC levels

+ Charge whenever possible at low C-rate.

-

5 Charging protocol – C-Rate and SOC levels

+ Charge whenever possible at low C-rate.

- Quick charging

6 Temperature (Driving Charging Parking) – Temp and SOC levels

+ keep battery cool when hot outside.

- Keep battery warm when cold outside

Appendix D: Indata till ekonomiberäkningar

Fordon använda för att beräkna prosuments och statens ekonomi								
	Referens	PlugIn-Hybrids			Electric Vehicles - EV's			
	Volvo V60 D3	Volvo V60 D5 Parallel Hybrid 11,2 kWh	Reference Serie Hybrid 10 kWh	BMW i3-REX Serie Hybrid 18,8 kWh	BMW i3 18,8 kWh	Nissan Leaf 24 kWh	Tesla Model 3 80 kWh Bas	Tesla Model S 90 kWh
Fordons Kostnad & Pris (kSEK)								
Pris efter Bonus	293	458	313	398	320	260	252	784
Bonus (year 1)	0	-15	-22	-22	-60	-60	-60	-60
Pris hos återförsäljare	293	473	335	420	380	320	312	844
National Taxes (20% + 25%)	72	113	85	99	87	72	147	164
Produktkostnad	161	251	190	220	194	159	326	365
Marknadsföring och försäljning	10	12	10	10	8	6	8	8
Distribution	10	12	10	10	8	6	8	8
Montering	6	7	6	6	5	4	5	6
Forskning o Utveckling	10	12	10	10	8	6	8	8
Batteri	0	18	16	30	30	39	129	138
P/T El inkl. AC, DC/DC, etc	0	60	58	74	74	58	98	128
P/T ICE inkl. Transmission, etc	55	60	20	20	0	0	0	0
Kaross, Interiör o Exteriör	70	70	60	60	60	40	70	70
Fordonsdata								
Förbränningsmotor (kW)	110	120	25	25	0	0	0	0
Batteri (kWh)	0,0	11,2	10,0	18,8	18,8	24,0	80,0	85,0
El P/T max effekt (kW)	0	85	80	125	125	80	192	277
Certifierad "fossil"-förbrukning för Bonus/Malus(l/100)	0,69	0,18	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Verklig "fossil" förbrukning för APU (l/100 km)		0,69	0,40	0,40				
Elförbrukning - Framdrivning (kWh/km)	0,00	0,22	0,15	0,14	0,13	0,12	0,20	0,18
Varav elförbrukning - Övrigt (kWh/km)		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Räckvidd på el (km)	0	50	67	139	146	199	395	475

Annual Drive Cycle			
Driving during weekdays	315	days with driving dist.	30 (km)
Driving during weekends	50	days with driving dist.	100 (km)
	365		
Annual driving distance (km)	14 450		

Drivmedelkostnad år 1	
Storskalig produktion el - Pris (öre/kWh)	50
Storskalig produktion el - Skatt + Moms (öre/kWh)	30
Egenproducerad el - Produktionspris (öre/kWh)	0
Egenproducerad el - Skatt + Moms (öre/kWh)	0
Överföring el - Pris (öre/kWh)	20
Överföring el - Skatt + Moms (öre/kWh)	10
Fossilbränsle diesel - Förändring av skatt vs. Tid (%/år)	2
Fossilbränsle diesel - Produktionspris (kr/liter)	7,5
Fossilbränsle diesel - Skatt + Moms (kr/liter)	9,7