

# Nätteknisk och affärsmässig utvärdering av Vehicle-to-Home



---

**Sara Persson**  
**Ellinor Forsström**

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation  
Faculty of Engineering, Lund University

# Förord

Studien som presenteras i denna rapport är ett examensarbete utfört av Sara Persson och Ellinor Forsström hösten år 2016. Båda är studenter vid civilingenjörsprogrammet Ekosystemteknik/Environmental Engineering vid Lunds Tekniska Högskola och projektet har i sin helhet utförts i samarbete med E.ON Elnät i Malmö.

Ett stort tack riktas till arbetets fyra handledare; Jörgen Svensson (LTH), Alf Larsen (E.ON Elnät), Ingmar Leißer (E.ON Elnät) och Peter Andersson (E.ON Elnät). Ett speciellt tack skickas till Ingmar och Peter som varit ett inspirerande bollplank och stöd genom arbetets nätsimuleringar och affärsmodell. Utöver detta vill vi skänka en tacksam hälsning till Martin Messer Thomsen på Nuvve för ett inspirerande studiebesök och uppvisning av smarta laddningssystem i praktiken.

Avslutningsvis riktas ett stort tack till alla medarbetare på E.ON Elnät i Malmö som varit mycket välkomnande och som ställt upp och delat med sig av sin kunskap till oss.

December, 2016  
Malmö

# Sammanfattning

Två branscher som i stor utsträckning påverkas och formas av de klimat- och miljööutmaningar som samhället idag står inför är transportsektorn och energimarknaden. Introduktionen av tekniska lösningar så som intermittenta kraftslag och eldrivna fordon är inte utan problem, i synnerhet inte för elnäten. De förnybara energislagen ger upphov till en allt mer svårprognostiserad och varierande elförsörjning samtidigt som det stora effektpåslaget som elbilar förväntas skapa ökar belastningen på elnätets ledningar och utrustning. En teknik som potentiellt skulle kunna erbjuda en lösning på detta problem är Vehicle-to-home (V2H), där elbilens batteri ställs till nätets förfogande i form av ett energilager. Denna studie har som syfte att ur ett nätteknisk- såväl som affärsmässigt perspektiv undersöka hur V2H på detta vis kan jämnat ut effekttoppar och minska belastningen i högt belastade lokalnät. Projektet har utformats tillsammans med E.ON Elnät i Malmö och behandlar ett eventuellt nätsscenario år 2030.

Studien utgår från en nätstation i Danderyds kommun, ett lokalnät som är representativt för de ytterstadsnät som har högst risk att drabbas av för höga belastningar då elbilar introduceras. Stationen består av en transformator med en maximal belastning av 800 kVA som knyter samman 120 anslutna nätkunder. Genom att utgå från historisk förbrukningsdata för hushållen simuleras olika elbilsscenarion och hur dessa skulle påverka nätet. Tre olika elbilfall hanteras; att 20, 40 samt 80 procent av fordonen i området är eldrivna. Dessa fall undersöks sedan både med och utan V2H-anslutna elbilar. I 40-procentfallet undersöks även alternativet nattladdning.

Resultatet pekar tydligt på nyttan med V2H jämfört med dagens laddningsalternativ, speciellt då de två större elbilsvolymerna undersöks. Fallet då 80 procent elbilar simuleras visar sig generera störst nättekniska fördelar och undersöks således vidare ur ett ekonomiskt perspektiv.

Den affärsmässiga utvärderingen genomförs genom uppförandet av en affärsmodell enligt strukturen Business Model Canvas (BMC) med syfte att skapa en energitjänst som elnätsföretagen kan erbjuda de anslutna nätkunderna. Resultatet pekar mot att tjänsten först genererar en betydande ekonomisk vinst då V2H-teknik är väletablerat i samhället. Dock skulle vinsten potentiellt kunna förbättras ytterligare i kombination med de övriga tjänsterna som tekniken erbjuder. Det tydliggörs även att flera regelmässiga hinder för att implementera en V2H energitjänst existerar i dagens lagstiftning. De regelmässiga hinder som tas upp är bland annat prisdiskriminering inom ett nätområde och elnätsföretagens begränsade möjligheter att använda energilager i verksamheten.

Målet med studien är att ge läsaren en bredare förståelse för V2H, vad tekniken kan erbjuda och hur den kan komma att införlivas i större skala. Syftet är också att ge en inblick i komplexiteten kring elnätets administrativa uppbyggnad och de utmaningar som dess verksamhet står inför med de förändringar som väntar elmarknaden.

**Nyckelord:** V2H, smart laddning, effektreducering, elnätsverksamhet, energitjänst

# Abstract

Two business areas which are largely influenced by the environmental challenges facing society today are the transport and energy business. The introduction of technical solutions such as intermittent power sources and electric vehicles is not without problems, especially not for the grid infrastructure. The use of renewable energy giving rise to an unpredictable energy supply and the use of electrical vehicles creates an increased power demand which combined with the former will affect grid components and equipment. In some parts of the grid, where the load is already high, the quality of the electricity that is delivered to the customer could be threatened and extensive reinforcements of the grid gets necessary.

A technology that potentially could offer a solution to this problem is Vehicle-to-home (V2H), where the battery in the electric car is used as a grid asset and functioning as energy storage. The aim of this study is to investigate the potential of V2H for reduction of power demand during peak hours. Both the technical aspects as well as the economics behind it will be examined. The project has been performed together with the grid operator E.ON in Malmö and covers a grid scenario which is expected in 2030.

The study is based on a grid station in the municipality of Danderyd in Stockholm. The local grid in Danderyd is representative for those of the outer urban areas which have the highest risk of excessive loading when electric cars are introduced. The station consists of a transformer with a maximum load of 800 kVA which serves 120 connected customers. By using historical data of the energy consumption, different scenarios are designed to simulate how the presence of electric cars would affect the grid. Three different cases are taken into consideration; 20-, 40- and 80-percent of the vehicles in the area are electrically powered. These cases are then examined both with and without V2H-connected electric vehicles. In the case of 40 percent charging options such as night charging is also considered.

The results clearly point to the benefits of V2H compared with the current charging options, especially when the two major electric vehicle volumes are examined. The case where 80 percent of electric cars is simulated turns out to generate the highest technical benefits and is further examined from an economic perspective.

A business model for the V2H energy service for peak shaving is designed according to a structure called Business Model Canvas (BMC). The energy service is designed so that grid operators can offer it for the connected customers. The results indicate that the service first generates a significant economic gain when V2H technology is well established in the community. It could potentially be further improved when combined with other services offered by the technology. The study also clarifies that multiple regulatory barriers exist that prevent such a service to be realized without reforms in the law.

The goal of the study is to give the reader a larger understanding of V2H and what the technology could offer. The purpose is also to give an insight in the complexity of the framework in which grid operators acts and the challenges they are facing in the development of the electricity market.

**Keywords:** V2H, smart charging, peak shaving, grid operator, energy service

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	8
1.1 Bakgrund .....	8
1.2 Syfte.....	12
1.3 Problemformulering.....	12
1.4 Metod .....	12
1.5 Avgränsningar.....	13
1.6 Läs hänvisning .....	13
<b>2. Teoretisk bakgrund</b> .....	15
2.1 Introduktion till V2H .....	15
2.1.1 Vehicle to home (V2H).....	15
2.1.2 V2H-teknikens möjligheter.....	17
2.2 Elbilsutveckling och tekniska förutsättningar .....	18
2.2.1 Eldrivna personbilar.....	18
2.2.2 Batteriteknik .....	19
2.2.3 Marknadsläge & teknikmognad.....	21
2.3 V2H – Nätperspektivet .....	23
2.3.1 Överbelastningar och nätförluster .....	24
2.3.2 Spänningsnivå .....	25
2.3.3 Överliggande nät .....	25
2.4 V2H - Kundperspektivet.....	26
2.4.1 Hushållens elförbrukning.....	26
2.4.2 Hushållskundens flexibilitet och ersättningskrav.....	27
2.5 Elmarknaden och dess framtidsutsikter.....	29
2.5.1 Elmarknadens uppbyggnad.....	29
2.5.2 Framtidens elmarknad .....	31
2.6 Elnätsverksamhet .....	35
2.6.1 Reglering och intäktsram.....	35
2.6.2 Lagstiftning som kan försvåra införande av energitjänster .....	36
2.7 Verktyg för affärsmodell och analys.....	37
2.7.1 Business Model Canvas (BMC).....	37
2.7.2 SWOT-analys .....	40
<b>3. Nätanalys</b> .....	42
3.1 Fallstudie.....	42
3.1.1 Områdesbeskrivning.....	42

3.1.2 Kundbeskrivning.....	43
3.1.3 Nätstationsbeskrivning.....	44
3.2 Nätsimulering.....	45
3.2.1 Simuleringsverktyg.....	45
3.2.2 Simuleringsmetodik och indata.....	45
3.2.3 Simuleringsscenarion.....	49
3.2.4 Avgränsningar och antaganden.....	50
3.3 Resultat.....	51
3.3.1 Grundscenario 1-2: Bostadsområde utan elbilar & Bostadsområde med elbilar utan V2H-styrning.....	51
3.3.2 Grundscenario 3: Bostadsområde med elbilar styrda för nattladdning.....	52
3.3.3 Grundscenario 4: Bostadsområde med snabbbladdade elbilar och färre laddningstillfällen.....	53
3.3.4 V2H-scenario 1-3: Bostadsområde med varierande penetration av elbilar med V2H-styrning.....	54
3.4 Summering av simuleringsresultat.....	63
<b>4. Affärsmodell.....</b>	<b>65</b>
4.1 Affärsmodell: Energitjänst för V2H.....	65
4.1.1 Översiktlig beskrivning av tjänstens utformning.....	65
4.1.2 Antaganden och förutsättningar för beräkningar.....	66
4.1.3 Nyckelblock för affärsmodell.....	66
4.2 Ekonomisk utvärdering av affärsmodell.....	77
4.2.1 Nätstationsnivå.....	77
4.2.2 Lokalnätsnivå.....	78
4.2.3 Känslighetsanalys.....	79
4.3. Summering av affärsmodell för V2H energitjänst.....	82
<b>5. Utvärdering av V2H.....</b>	<b>84</b>
5.1 SWOT-analys.....	84
5.1.1. SWOT: V2H för effektreducering.....	85
5.1.2 SWOT: V2H-konceptet.....	87
5.2 Hållbarhetsanalys.....	89
5.2.1 Miljömässig hållbarhet.....	89
5.2.2 Social hållbarhet.....	89
5.2.3 Ekonomisk hållbarhet.....	90
<b>6. Diskussion.....</b>	<b>91</b>
6.1 Nätanalys.....	91
6.2 Affärsmodellen.....	93
6.2.1 Antaganden, beräkningar och resultat för affärsmodellen.....	93
6.2.2 Affärsmodellens utformning, hinder och möjligheter.....	94

6.3 Roller, aktörer och drivkrafter för energitjänsten.....	95
6.3.1 Elnätsägarens roll .....	95
6.3.2 Energitjänsten ur ett nätperspektiv.....	96
6.3.3 Kundens drivkrafter för att medverka i energitjänsten.....	97
6.4 Framtidsutsikter.....	98
<b>7. Slutsats .....</b>	<b>100</b>
<b>Referenser .....</b>	<b>102</b>
<b>Bilaga 1 .....</b>	<b>108</b>



# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

En av de absolut hetaste frågorna sedan 2000-talets början har varit de miljö- och klimatutmaningar som oundvikligen kommer präglade hela det kommande seklet. Ingen bransch eller något samhälle lämnas oberörd när det kommer till klimatanpassade lösningar, miljöpolitiska beslut och tekniska framsteg som piskas på av allt mer annalkande klimatproblem. Kärnan i många av de frågeställningar som blommar upp i takt med ett varmare klimat, smältande isar, extremväder, naturkatastrofer och utarmningar av såväl flora som fauna är i mångt och mycket konstant, nämligen frågan om energi. Två branscher som i allra högsta grad berörs av detta är el- och transportsektorn där energi är huvudråvara för respektive verksamhet. Krav på minskad klimatpåverkan, energieffektiviseringar och förnybara energikällor gjuter om mallarna för hur dessa verksamheter ska bedrivas. Exakt vilken form de kommer anta är fortfarande mycket ovisst, men att stora förändringar redan börjat ske är en realitet och att större är att vänta står som en självklarhet. Ny teknik öppnar dörrar för båda branscherna och spekulationerna kring om vart tekniken kommer leda utvecklingen är många. (Johansson & Jonsson, 2009) (Larsson & Ståh, 2011).

När det kommer till elnätstekniken har utvecklingen varit mer eller mindre stillastående under 1900-talet. Mycket av den teknik som används idag inom kraftdistribution har genomgått få stora förändringar sedan den en gång uppfanns. En talande liknelse för detta fenomen görs i en rapport utfärdad av Vinnova som lyder, ”... om Thomas Edison eller vår svenska motsvarighet Jonas Wenström kunnat se in i framtiden skulle de förmodligen nickat ganska igenkännande” (Larsson & Ståh, 2011). Dock är den tiden förbi och helt nya begrepp och koncept har letat sig in i eldistributionsverksamheten likväl som nya aktörer. Vad som går likt en röd tråd genom alla dessa förändringar är tron på att ”smarta elnät” och de tekniska möjligheter som detta medför kommer dominera branschen. Den största förändringen som kommer ske är att marknaden går mot att bli efterfrågedriven. Detta betyder att elkonsumenterna blir mer aktiva deltagare på elmarknaden och i mångt och mycket styr elförsörjningen. Marknadsförutsättningarna omkullkastas från den produktionsstyrda elmarknaden som vi är vana att se och nya investeringsbehov uppstår. Med smarta elnät och stärkt konsumentmakt följer också ett större inslag av mikroproduktion i form av förnybara energikällor. Dessa intermittenta kraftslag och den osäkerhet i långsiktiga försörjningsprognoser som de medför skapar nya utmaningar för elnäten. Även den nationella elproduktionen förändras i grunden då kärnkraften som länge utgjort en väsentlig del av Sveriges baskraft snabbt fasas ut till förmån för ökad andel sol, vind- och vågkraft. Detta tillsammans med en mer medveten kund som helt plötsligt kan både följa och styra sin egen elförbrukning skapar både möjligheter och svårigheter för dagens elnätföretag. Utmaningarna ligger till stor del i att hinna med att anpassa verksamheten till de nya elmarknadsstrukturer som nu uppstår och ta vara på de möjligheter som därav följer.

Behovet av att utveckla nya energitjänster som kan kompensera för en minskad, effektivare och mer anpassad förbrukning av kunden är därför av stor vikt för elnätsföretagen (Larsson & Ståh, 2011).

Samtidigt som detta händer sker minst lika revolutionerande förändringar inom transportsektorn. På EU-nivå har ett antal olika utmaningar inom transport identifierats där miljö enbart är en av många aspekter som kräver förändringar av dagens transportsituation. Frågor som ökad konkurrens från andra transportmarknader, infrastrukturens kvalitet och inte minst oljeberoendet är alla frågor som medlemsländerna gemensamt måste hitta lösningar på (Europeiska unionen, 2016). Dock är de utsläppsmål som Europa har enats kring kanske det som kommer att forma transportererna mest. Bland annat har det beslutats att totala växthusgasutsläppen inom medlemsländerna ska minska med 20 procent jämfört med 1990-års nivå till år 2020 respektive 40 procent till år 2030 (Svensk energi, 2016). Idag står transportsektorn för nästan en femtedel av dessa utsläpp. I Sverige är motsvarande målsättning en minskning av utsläppen med 40 procent till år 2020 (Naturvårdsverket, 2016). Huruvida förutsättningarna för att nå dessa mål är goda eller inte är omdebatterat. Vad som dock kan konstateras är att transportsektorn på nationell, likväl som EU-nivå, är det svarta fåret då utsläppen går i motsatt riktning mot den önskvärda. För att motverka detta har en målsättning satts om att tio procent av drivmedelsanvändningen ska vara förnybar till år 2020. Det står klart att en förändring av transportsektorn är nödvändig. (Johansson & Jonsson, 2009) På senare år har speciellt en pusselbit till lösningen vuxit sig större, för att idag mer eller mindre dominera debatten angående framtidens transporter. Elektrifieringen av transportsektorn, och med den elbilen, symboliserar de egenskaper som kan erbjuda lösningar på flera av de utmaningar som transportmarknaden står inför. Eldrift innebär ett bullerreducerande och ekonomiskt fördelaktigt bränslealternativ som är fritt från lokala utsläpp och intresset för tekniken är glödhet. På några år har utbudet av elbilar gått från att enbart erbjudas av några få aktörer till att i dagsläget produceras av ett tjugotal av de världsledande billtillverkarna och omfatta såväl hybrid- som fulllektriska bilalternativ. (Larsson, 2010)

Här krockar utvecklingen av elmarknaden med transportsektorn. Elbilen som anses vara en lösning för den sistnämnda blir för den första ytterligare en börda. Många inom elnätssektorn ser elbilen som ett problem då införandet av en större eldriven fordonsflotta riskerar att ytterligare spä på den variabilitet som en ökad användning av intermittenta kraftslag innebär. Oron grundar sig i risken att ett allt för synkroniserat laddningsmönster från elbilsägarna och ett ökat energibehov ska leda till att lokalnäten överbelastas. En elbil förbrukar ca 3000 kWh per år, vilket motsvarar 15 procent av en normalstor eluppvärmd villa (Larsson, 2010). I ett räkneexempel som presenterats av North European Power Perspectives (2013) undersöks vad det skulle innebära om hälften av alla personbilar i Sverige skulle ersättas med elbilar. Resultatet visar att det sammanlagda energibehovet skulle uppgå till 7 TWh/år om elbilarna antas ha en energiförsörjning på 2 kWh/mil. Detta går att jämföra med den totala elförbrukningen i landet som samma år uppgick till ca 150 TWh. Dock är inte ökningen av elbilarnas energibehov den största farhågan för elnäten utan snarare det effektbehov som kan uppstå som en följd av bilarnas laddningsmönster. I ett scenario då 1,3 miljoner elbilar skulle introduceras i den nordiska personbilsflottan och följa ett ”icke-styrt”- laddningsmönster skulle det gemensamma effektbehovet öka med 1000-1500MW (Montin, et al., 2013). De höjda effektnivåerna skulle i värsta fall kunna leda till överbelastade lokalnät som når sin maximala överföringskapacitet och

drabbas av spänningsfall. Detta skulle hota elkvaliten och leverassäkerheten i de drabbade näten (Laphai & Polat, 2015).

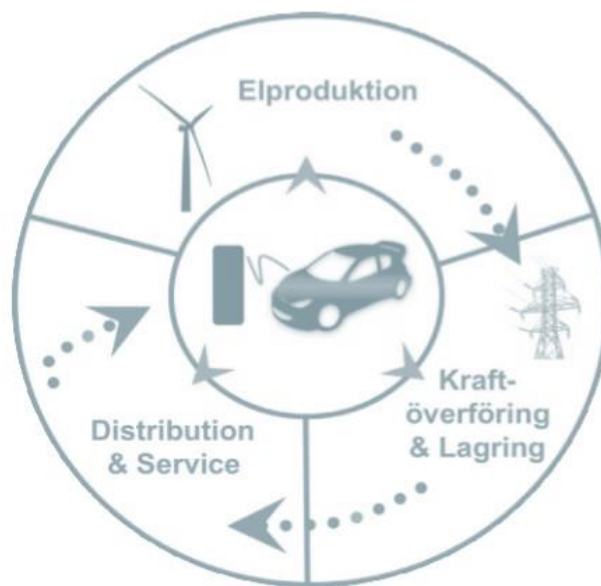
Detta kan tyckas som ett svårlöst dilemma och en paradox där bara den ena branschens utveckling ges utrymme. Lyckligtvis visar dagens forskning att så inte alls behöver vara fallet, utan att de båda sidornas utveckling istället kan stärka varandra. En nyckel till att smarta elnät ska nå framgång är tillgången till energilager. Förmågan att kunna lagra och vid behov distribuera energi för att jämna ut effektvariationer är av högsta vikt för att klara av utmaningarna som framtidens energiförsörjning skapar. Detta behov gör att elbilen nu syns ur ett nytt perspektiv, nämligen som ett mobilt energilager. Personbilar används i genomsnitt enbart fyra procent av tiden per dygn vilket gör att elbilens batteri har stor potential att agera energilager vid de tillfällen då bilen står parkerad (Haines, et al., 2009). ”Smart laddning” kan på så sätt bli en viktig del av smarta elnät och kan hjälpa till att hålla energiförbrukning och miljöbelastningarna inom båda branscherna på så låg nivå som möjligt (Larsson & Ståh, 2011).

Vad som karakteriserar smarta laddningstekniker är att bilen ur ett eller flera avseenden kommunicerar med sin omgivning och reglerar laddningsmönster efter detta. Det kan innebära att laddningen förskjuts i tid till tidpunkter då lasten i distributionsnäten är låg, något som vanligen förekommer nattetid. En annan lösning innebär att elbilens effektuttag varierar beroende på hur nätet vid en viss tidpunkt är belastat. En av de mer intressanta lösningarna innebär dock att bilen också kan lämna tillbaka energi till nätet då behovet är stort. Ur ett kundperspektiv innebär detta att möjligheter att styra elbilens laddning efter individuella val och marknadspriser blir större, något som ligger i linje med det maktskifte som sker på elmarknaden. Elbilens förmåga att kommunicera med elnätet öppnar upp för helt nya energinyttor och en ny energitjänstemarknad kan växa fram. Några av de mer lovande koncepten som redan i dag har implementerats i varierande skala kan sammanfattas genom följande begrepp; (Larsson, 2010)

- **Grid to Vehicle (G2V)**  
Grid to Vehicle är den absolut enklaste ”smarta styrningen” av en elbil. Det innebär att bilen undviker att generera höga belastningar på lokalnäten genom automatisk övervakning och ekonomiska incitament. I mer vardagliga termer innefattar G2V det som kallas laststyrning, helt enkelt en smartare planering av elbilens laddning.
- **Vehicle to Grid (V2G)**  
Till skillnad från G2V innebär V2G ett mer förfinat koncept som tar nätnyttan av elbilen till en ytterligare dimension. Tekniken tillåter nu bilen att också föra tillbaka el som lagrats i batteriet till nätet. Detta kan fylla olika syften men det mest lovande är då bilen används för att jämna ut variationer vilket görs genom frekvensreglering.
- **Vehicle to Home (V2H)**  
Vehicle to Home kan likt V2G mata tillbaka lagrad energi från batteriet men med en skillnad. Istället för att försörja hela elnätet används den lagrade energin för att minska hushållets egna förbrukning. Detta kan användas som reservkraft vid eventuella strömavbrott eller för att kapa hushållens effekttoppar.
- **Vehicle Roaming (VR)**  
Vehicle Roaming är en förutsättning för att V2G och V2H ska fungera oavsett vart bilen befinner sig. Det innebär att bilen har förmåga att kommunicera med elnätet och

tillgodose de lastbehov som finns i just den anslutningspunkt som bilen för närvarande är uppkopplad till.

Hur långt utvecklingen av dessa tekniker har kommit skiljer sig åt. Att en stor elbilsflotta kräver någon typ av smart styrning står dock klart. G2V tekniken är som beskrivet en mer avskalad variant av kontrollerad laddning och står av den anledningen närmast ett storskaligt förverkligande (Larsson, 2010). Dock har flera företag och elbilstillverkare nu fått upp ett intresse för mer avancerade former av smart laddning. Inte minst Nissan som har presenterat V2H-lösningar anpassade för privata hushåll men också påbörjat en lansering av V2G-laddning i Danmark (Roberts, 2016). Trots dessa framsteg kvarstår många frågetecken innan dessa laddningslösningar bli ett vanligt inslag i samhället. Det faktum att tekniken omfattar flera olika marknader (se figur 1.1) som idag är åtskilda och den osäkerhet som ligger i prognoser för utvecklingen av såväl elbilstekniker och kraftinfrastruktur gör att komplexiteten kring införandet ökar. För vissa till den grad att det kan upplevas som ett hinder. Fördelarna som tekniken utlovar anses dock för majoriteten av de inblandade aktörerna vara tillräckligt intressanta för att motivera arbetet på vägen. (Larsson, 2010). Kanske är det detta steg som smart laddning utgör som får både Edison och Wenström såväl som Ford att se in i framtiden med förundran.



**Figur 1.1 Elbilen som central drivkraft för olika marknader (Larsson, 2010)**

I detta arbete undersöks hur införandet av elbilar med smart laddning kan ta uttryck i ett lokalnät i Sverige. Projektet har valt att fokusera på V2H-laddning och utgår från elbilsprognoser gällande år 2030. Platsen som undersöks i arbetet utgår i första hand från en nätstation i Stockholmsområdet som karakteriseras av en redan hög belastning och en kundbas boende i eluppvärmda villor. Resultatet används sedan för att skapa ett förslag på en affärsmodell utformad efter energitjänsten.

### 1.2 Syfte

Målet med detta projekt är att bygga upp ny kunskap inom teknikområdet ”smarta laddningslösningar” med fokus på V2H. Arbetet syftar till att identifiera möjligheterna som tekniken erbjuder genom att knyta an till de utmaningar som ett växande antal elbilar innebär. Målsättningen är att skapa intresse och diskussion kring en tjänst som både skulle passa in i elnätföretagens verksamhet samtidigt som den är en del av omställningen mot en större volym elbilar i den svenska fordonsflottan.

### 1.3 Problemformulering

Transportsektorn står inför stora förändringar de kommande åren och elektrifiering av vägtransport väntas bli en avgörande del av omställningen till en fossiloberoende fordonsflotta. Trots att utvecklingen av eldrivna alternativ i personbilssektorn redan idag nått långt återstår många frågetecken innan implementeringen av elbilar i större skala kan ske. År 2030 förväntas en stor del av personbilarna drivas på el vilket skapar nya utmaningar för elnätet. Viss problematik kring frågor likt ojämna laster, överbelastning av elnätet och behov av nyinvesteringar i infrastrukturen har redan uppmärksammats till elbilens nackdel. I dessa diskussioner glöms ofta teknikens potentiella fördelar bort. Eftersom användningsmönstret av personbilar visar att fordonet är stillastående ungefär 96 procent av dygnet finns möjligheter att integrera bilens lagringskapacitet som en del av ett smart elnät. Med hjälp av V2H-teknik kan elbilen både ladda batteriet med el från kraftnätet men också återföra energin till hushållet då behov uppstår. Denna teknik kan inte bara bidra med nytta i transportsektorn utan även vara svaret på problematiken med den ökade belastningen på elnätet. För att synliggöra potentialen i tekniken fokuserar rapporten på följande tre frågeställningar;

- Hur stor potential har V2H-teknik att användas som energilagring i svenska hushåll och hur påverkar detta aktuella lokalnät?
- Hur kan eventuella affärsmodeller och framtida tjänster för denna teknik utformas?
- Vilka hinder finns för införandet av tekniken i dagens regelverk och hur kan dessa övervinnas?

### 1.4 Metod

För att besvara de ovan presenterade frågeställningarna utgår arbetet från två huvuddelar. I den inledande delen simuleras tekniken på lokalnätetsnivå och i den följande delen utformas en affärsmodell baserad på resultat från simuleringarna.

De tidsseriebaserade simuleringarna utförs i PSS/E (Power System Simulator for Engineering) med handledning från E.ON. PSS/E används för att kunna utföra nätberäkningar för effektflöden i ledningar samt spännningar i anslutningspunkter. Affärsmodellen arbetas fram enligt strukturen Business Model Canvas (BMC) och innehållet tas fram genom kontinuerlig kontakt

med avdelningen ”Produkter och tjänster” på E.ON Elnät. BMC-modellen har använts för att skapa en lättförståelig struktur och uppdelning av affärsmodellens viktiga delar.

Informationssamling för övriga delar av arbetet baseras på litteraturstudier, intervjuer och studiebesök.

### 1.5 Avgränsningar

Nedan följer de övergripande avgränsningar som gjorts i arbetet. Mer områdesspecifika förenklingar som antagits för simuleringarna och affärsmodellen presteras under respektive kapitel.

#### **Teknikmognad 2030**

Rapportens samtliga delar bygger på antagandet att tekniken som undersöks har nått den mognadsgrad att den är kommersiellt gångbar och storskaligt etablerad år 2030. Detta innebär att priset på infrastruktur som elbilen kräver samt fordonet i sig har sjunkit betydligt från dagens läge och att V2H är ett välkänt koncept för elbilsanvändare likväl som elnätsföretag.

#### **Inga nätförstärkningar har genomförts från dagsläget**

Simuleringarna och affärsmodellen utgår från förutsättningarna att nätet år 2030 ser ut som idag och att inga ytterligare förstärkningar har gjorts. Det är mycket möjligt att effektbehovet blir tillräckligt stort under 2020-talet att elnätsföretagen beslutar sig för att investera i förstärkningar av de befintliga näten vilket skulle minska nyttan med V2H något. Detta är ett scenario som ej behandlas i rapporten.

### 1.6 Lëshänvisning

Rapporten är uppbyggd enligt följande struktur:

**Kapitel 1 Inledning:** Presenterar bakgrunden till studien, dess syfte, frågeställningar och metod.

**Kapitel 2 Teoretisk bakgrund:** I detta kapitel tas den bakgrundsfakta och teori upp som studien grundar sig på.

**Kapitel 3 Nätanalys:** Nätsimuleringar har utförts på en nätstation för olika elbilsscenarion och styrning med V2H-teknik. I kapitlet presenteras metod och resultat för de olika scenarierna. Slutsatser för kapitel 3 finns under delkapitel 6.1 Nätanalys i kapitel 6 Diskussion.

**Kapitel 4 Affärsmodell:** Den affärsmodell som skapats för en energitjänst för V2H-teknik som elnätsföretag kan erbjuda sina kunder introduceras i detta kapitel i form av en ekonomisk sammanställning och paketeringsförslag. Slutsatser för kapitel 4 finns under avsnitt 6.2.1 Antagande, beräkningar och resultat för affärsmodellen samt 6.2.2 Affärsmodellens utformning, hinder och möjligheter i kapitel 6 Diskussion.

**Kapitel 5 Utvärdering av V2H:** Den utvärdering som gjorts av tekniken med hjälp av SWOT-analyser presenteras här.

**Kapitel 6 Diskussion:** I detta kapitel tas diskussionspunkter från kapitel 3, 4 och 5 upp och knyts ihop med den teoretiska bakgrunden i kapitel 2.

**Kapitel 7 Slutsats:** De viktigaste slutsatserna tillsammans med förslag på framtida studier inom ämnet presenteras.

Vid intresse för enbart Nätanalys kan följande kapitel läsas separat:

- 2.1 Introduktion till V2H
- 2.2 Elbilsutveckling och tekniska förutsättningar
- 2.3 V2H – Nätperspektivet
- 3 Nätanalys
- 6.1 Nätanalys

Vid intresse för enbart Affärsmodell kan följande kapitel läsas separat:

- 2.1 Introduktion till V2H
- 2.2 Elbilsutveckling och tekniska förutsättningar
- 2.4 Kundperspektivet
- 2.5 Elmarknaden och dess framtidsutsikter
- 2.6. Elnätsverksamhet
- 2.7 Verktyg för affärsmodell och analys
- 4 Affärsmodell
- 6.2.1 Antagande, beräkningar och resultat för affärsmodellen
- 6.2.2 Affärsmodellens utformning, hinder och möjligheter

## 2. Teoretisk bakgrund

*I detta kapitel presenteras den teoretiska bakgrund som ligger till grund för nätsimuleringarna och affärsmodellen. Kapitlet inleds med en introduktion till V2H där begreppet förklaras och exempel på användningsområden presenteras. Därefter följer ett delkapitel om elbilen och batteriets utveckling. De två följande delkapitlen tar upp V2H ur ett nät - och kundperspektiv. För att få en inblick i elmarknaden och elnätsverksamheten presenteras dessa i två kapitel där viktiga aspekter för denna studie tas upp. Den teoretiska bakgrunden avslutas med ett delkapitel som beskriver de verktyg som använts för skapande av affärsmodell och analys.*

### 2.1 Introduktion till Vehicle-to-home (V2H)

I rapportens inledning introducerades begreppet ”smart laddning” och några av de koncept som termen omfattar. Under 2000-talet har elbilsindustrin i första hand fokuserat på enskilda komponenter som enbart är kopplade till bilen som transportmedel och det är först nu som dessa bredare teknikperspektiv hamnat i strålkastarljuset. Smarta elnät har öppnat vägen för mer integrerade lösningar mellan elbilen och elnätet. De elbilar som är utrustade för att kunna ingå i ett sådant system kallas på engelska ”Gridable electric vehicle”. Enkelt översatt nätanpassade elbilar. Ett av de koncept som involverar dessa bilar och som hör till smart laddning är Vehicle to Home (V2H). Det är en av de nätintegrerade lösningarna som forskarvärlden bedömer ligga närmast ett storskaligt förverkligande och är också fokus för denna rapport. I detta avsnitt introduceras konceptet och dess användningsområden.

#### 2.1.1 Vehicle to home (V2H)

Enkelt beskrivet innebär V2H att elbilen kan kopplas till ett hushåll för att antingen ladda batteriet eller använda den lagrade energin till att förse huset med energi. Detta sker med hjälp av en dubbelriktad omvandlare som antingen är installerad i bilen eller i en extern laddningsstolpe. På detta sätt kan energiflödet till och från bilen kontrolleras genom ett bestämt styrschema. Nedan listas några av de användningsområden som V2H-tekniken erbjuder (Liu, et al., 2013);

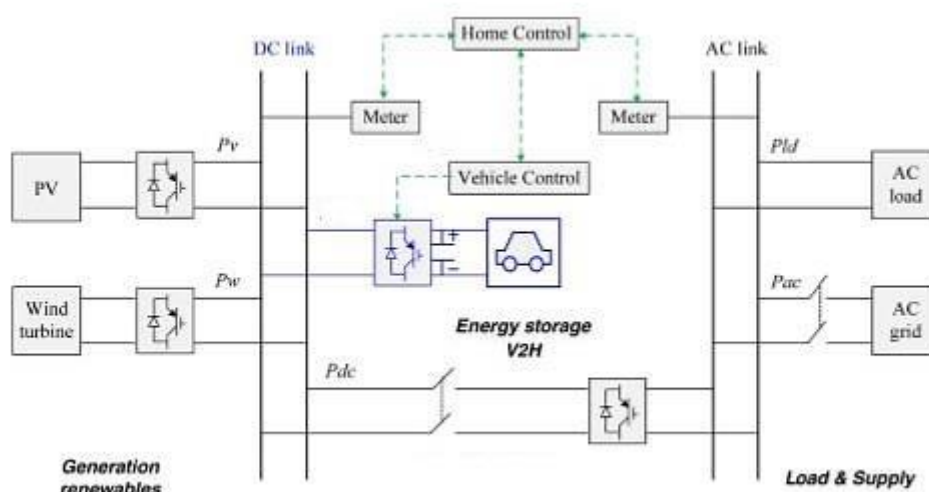
- Bilen agerar som en kontrollerbar last för att minska och jämna ut effekttoppar
- Batteriet fungerar som en reservgenerator vid potentiella störningar av eltillförseln till hushållet.
- Bilen har möjlighet att kommunicera med hushållets övriga elektronik och på så vis styra stora delar av hushållets last.
- Tekniken kan användas för att sälja lagrad överskottsenergi tillbaka till elnätet under perioder då efterfrågan är hög.



- Batteriers lagringskapacitet kan nyttjas för att effektivisera användandet av förnybara energislager vid egenproduktion.
- Elbilen kan användas som en nyckelkomponent i ett hemmanät eller mikronät.

De V2H-system som finns tillgängliga idag riktar sig i första hand till enskilda hushåll och teknikens mognadsgrad är långt gången jämfört med många andra smarta laddningslösningar (Liu, et al., 2013). En av de faktorer som drivit på utvecklingen av just detta laddningssystem är de negativa konsekvenser för elförsörjningen som ett flertal stora naturkatastrofer har haft de senaste åren. Diskussioner angående elbilen som tillgänglig reservkraft har förts både i fotspåren av tsunamin som drabbade Japan år 2011 (BBC, 2012) och orkanen Sandy som slog hårt mot USA år 2012 (The Chronicle Herald, 2012). Fler och fler elbilstillverkare har därför fått upp ögonen för tekniken och de ytterligare möjligheter som V2H medför. I dagsläget har Nissan, Toyota och Mitsubishi färdiga V2H-system som finns tillgängliga för privatkunder. (Nissan Global, 2016) (Toyota Global, 2016) (Mitsubishi, 2016 b).

Anledningen till teknikens snabba genomslagskraft beror i mångt och mycket på systemets relativt enkla konfiguration. I figur 2.1 visas en principiell skiss över hur ett V2H-anslutet hus kan se ut. I detta fall involverar hushållets nätsystem även mikroproduktion. Nätverket är uppdelat i tre sektioner elnätet, energilagret i form av V2H samt kraftproduktion från vind- och solenergi. Systemet är uppbyggt av en växelströmslänk (AC), likströmslänk (DC), elbilens dubbelriktade omvandlare, enkelriktade omvandlare från mikroproduktionen och dubbelriktade omvandlare från växelströms- och likströmslänken samt styrkretsen i form av ett styrsystem för hushållet och ett för bilen. Elbilens laddare kan antingen vara av DC/AC-typ alternativt typen DC/DC. I den utformning som illustreras i bilden kan omvandlarna mellan AC och DC skapa en plattform för både ett aktivt effektutbyte med hemmet likväl som kraftöverföring mellan hushållet och elnätet. (Liu, et al., 2013). Genom att styrsystemet interagerar med husets huvudströmbrytare möjliggörs även att elförsörjningen snabbt kan skiftas helt och hållet från elnätet till bilens batteri om elbilen önskas användas som reserv-generator (Power Stream, 2012).



Figur 2.1 V2H-nätverk för ett hushåll. (Liu, et al., 2013)

### 2.1.2 V2H-teknikens möjligheter

Hur väl V2H-styrningen kan komma att uppfylla de tidigare presenterade användningsområdena beror på en rad olika faktorer. Inte minst frågor så som hushållets befintliga lastprofil, användarens körvanor och körteknik samt de aktuella elpriserna påverkar hur styrningen fungerar. Även batteriegenskaper kommer i hög grad påverka styrningen. Batteriernas kemiska sammansättning, maximala kapacitet, tillgängliga kapacitet, spänning och strömstyrkor vid upp- och urladdning kommer vara avgörande för potentialen i V2H (Liu, et al., 2013). Mer om batteriernas egenskaper går att läsa i delkapitel 2.2.2 Batteriteknik.

Som beskrivet finns en rad olika användningsområden av tekniken. Nedan listas en närmare beskrivning av de redan etablerade V2H tjänsterna.

#### ***Backup***

Att använda elbilen som reservkraft var en av de ursprungliga drivkrafterna bakom utvecklingen av V2H. Idén ligger i att kunna ta vara på den lagrade energin i bilen vid händelsen av en olycka som slår ut strömtillförseln till ett hushåll alternativt om ett plötsligt och stort energibehov uppstår. I denna utformning används bilbatteriet inte lika frekvent som de övriga tjänsterna, vilket har fördelar för batteriets livslängd (Power Stream, 2012).

#### ***Kombineras med solceller/mikroproduktion***

En av de tjänster som V2H ofta förknippas med är då elbilen kan komplettera mikroproduktion vid det egna hushållet. Genom att bilens batteri samverkar med småskalig elproduktion, till exempel solceller alternativt vindkraft, kan dessa energikällor utnyttjas på ett effektivare sätt. I den händelse att vädret tillåter en hög elproduktion vid tillfällen då förbrukningen är låg kan istället energin föras in till elbilen. Skulle efterfrågan vid ett mindre gynnsamt väder sedan stiga kan bilen förse hushållet med lagrad egenproducerad el alternativt sälja ut den till nätet om de boende så önskar.

#### ***Optimera på elpris***

Ytterligare ett användningsområde för V2H som antingen kan ses som en förlängning av föregående tjänst eller figurera enskilt är att bilens funktion som energilagrar kan styras efter rådande elpris. Det finns redan i Sverige idag drivkrafter mot liknande energitjänster för hushåll men då med stationära batterier. Genom att utnyttja tillgänglig lagringskapacitet kan kunden minimera de egna elkostnaderna genom att reglera energiflödena mellan lager, nät och bostad på så vis att extern förbrukning (el från nätet) i största möjliga mån används vid låga elpriser och att lagret används antingen för att sälja ut till nätet eller täcka förbrukningen vid höga elpriser (Kulin, 2015).

Denna studie kommer dock fokusera på ett annat användningsområde, nämligen möjligheten att minska och jämna ut effekttoppar för ett hushåll. Anledningen till detta är skapa en tjänst som kan bidra med nytta till lokalnätet och på så vis elnätföretagen. Detta är ett växande forskningsområde och lovande resultat för användningsområdet har publicerats. Bland annat har en studie genomförd vid University of Warwick i England påvisat att genom att reglera ett elbilsbatteri på 26 kWh genom V2H kan ett hushålls största effekttagg minska från 10 kW till 3

kWh. Detta under förutsättning att bilens dagspendling som högst uppgick till 4,8 mil (Haines, et al., 2009). Ytterligare en studie har visat att då V2H regleras efter hushållens effektuttag och samtidigt kombineras med mikroproduktion, i det aktuella fallet representerat av solceller, kan hushållet minska sina energikostnader med 20 %. Denna studie genomfördes vid University of Technology of Belfort-Montbéliard i Frankrike och följer således en fransk elprismodell (Berthold, et al., 2011). Dessa positiva resultat vittnar om att tekniken erbjuder möjligheter att skapa nytta för såväl det enskilda hushållet som nätägaren. Hur stor potentialen för detta är undersöks i denna rapport.

## 2.2 Elbilsutveckling och tekniska förutsättningar

Elbilen har under de senaste åren gjort ett enormt genomslag på fordonsmarknaden och tekniken som för bara ett decennium sedan var helt borträknad anses nu istället vara ett av fordonstillverkarnas största framtidshopp. Anledningen till detta är en snabb teknikutveckling, önskemål om ett minskat oljeberoende och strängare miljökrav både ur ett globalt och lokalt perspektiv (Montin, et al., 2013). Samtidigt har konsumenternas krav på privatfordon blivit allt hårdare och förväntningarna på den egna bilen blir allt större. God prestanda, tillförlitlighet, komfort, långa driftkostnader och minimal miljöpåverkan är alla aspekter som kunden värderar högt. Elbilen har idag tagit sig till den mognadsgrad att den nu kan konkurrera med de fossildrivna alternativen på dessa punkter och intresset från marknaden, allmänheten och forskningsvärlden har aldrig varit större (Larsson, 2010). I detta avsnitt genomförs en djupare beskrivning av dagens elbilsteknik och det marknadsläge som råder för elbilstillverkare.

### 2.2.1 Eldrivna personbilar

Elektrifierade bilar kan definitionsmässigt delas in i två olika modeller, rena elbilar (i denna rapport benämnt fullelektriska bilar) och laddhybrider. Den sistnämnda kan sedan delas in i ytterligare två kategorier, parallellhybrider samt seriehybrider. Vad som särskiljer de två teknikerna åt är att en parallellhybrid drivs med hjälp av två separata motorer, en laddningsbar elmotor och en förbränningsmotor. Dessa två motorer samverkar för att driva bilen och när batteriet är tomt till elmotorn tar förbränningsmotorn över. En seriehybrid är utrustad med en förbränningsmotor som driver en generator som alstrar ström. Denna energi används sedan i en eller flera elmotorer som är kopplade till drivhjulena på fordonet. Seriehybriden drivs på detta vis enbart av elmotorn och förbränningsmotorn används för att förse elmotorn med energi vid behov. (Montin, et al., 2013)

För att få en bredare förståelse för elbilsteknik måste ett antal nya termer introduceras. Många begrepp som är vanliga när det kommer till fossildrivna bilar ter sig aningen annorlunda när elbilar diskuteras och det kan därför underlätta för läsaren om dessa skillnader klargörs (Emobility, 2016 a).

- **Energiförbrukning:** En elbils förbrukning mäts till skillnad från en bil driven med en förbränningsmotor i kWh/km.

- **Motorns storlek:** Elmotorns storlek beskrivs av dess effekt och mäts vanligtvis i kilowatt, kW. Den kan också uttryckas med hästkrafter, där en hästkraft motsvarar ca 0,75 kW.
- **Räckvidd:** En för elbilen avgörande aspekt är dess räckvidd. Detta är ett mått på hur långt fordonet kan färdas under en hel laddningscykel. Även om denna sträcka är angiven i bilens specifikation kan den verkliga räckvidden skilja sig från den som är uppmätt av tillverkaren. Detta beror på att batteriet är känsligt för flera yttre faktorer så som yttertemperatur, övrig elutrustning i bilen, körteknik samt vägunderlag.

Laddningen av elfordon kan ske på flera olika sätt. Idag är laddning via en stationär laddstation det absolut vanligaste även om tester med konduktiv och induktivladdning under färd, till exempel genom så kallade elvägar, har genomförts. Även laddningseffekten kan variera och brukar vanligtvis delas in i följande tre kategorier, normalladdning, semisnabbladdning samt snabbladdning. Normalladdning används främst vid det egna hushållet medan de två sistnämnda laddningstyperna är vanligt förekommande på offentliga platser där bilen ofta kommer befinna sig en kortare tid. Hur lång tid det tar för ett elbilsbatteri att laddas upp beror delvis på effektstyrkan men påverkas också av vilken typ av anslutning som används. Ett vanligt förekommande laddningsalternativ för ett hushåll är en 3-fas växelströmsanslutning med 400V och 16A. (Emobility , 2016 b)

### 2.2.2 Batteriteknik

En återkommande fråga när elbilar diskuteras är batteriernas prestanda. Längre har hinder som otillräcklig kapacitet, kort livslängd och höga produktionskostnader för batteriet hämmat införandet av elektrifierade fordon. Att skapa batterier med lång hållbarhet på ett kostnadseffektivt vis har därför ansetts vara en nödvändighet för att kunna konkurrera med bilarnas fossila motsvarigheter. Hur väl batteriet lever upp till dessa krav bestäms bland annat av dess kemiska sammansättning, storlek, användningsmönster och batteripaketets uppbyggnad. Frågan om hur man optimerar batteriernas livslängd blir därför mycket komplex då det påverkas av faktorer skapade av såväl producenter och användare. Det finns dock fyra punkter som forskning har visat har störst negativ påverkan på batteriernas livslängd; (Arcus, 2016)

- Höga temperaturer
- Överladdning eller hög spänning
- Låga laddningsnivåer och låg spänning
- Hög strömstyrka och djup urladdning

Flera av dessa avgörande aspekter kommer beröras vid ett införande av smart-laddning då batteriet får ett helt nytt förbrukningsmönster. Av den anledningen är det viktigt att anpassa hemmets/nätets effektuttag efter batteriförhållanden som har minst påverkan på batteriets livslängd. För att förstå hur detta ska uppnås krävs en fördjupning av batteriets beteende och tidigare nämnda punkter. (Haines, et al., 2009)

När ett elbilsbatteri laddas upp och sedan laddas ur kallas det en laddningscykel. Det finns ett tydligt samband mellan minskad kapacitet och antalet laddningscykler ett batteri genomgår. Av denna anledning mäts batteriets livslängd ofta i antalet cykler och har standardiserats av industrin att motsvara det antal som ryms inom ramen för vad batteriet tål innan dess kapacitet har sjunkit till 70 procent av dess initiala kapacitet. (Arcus, 2016)

De flesta elbilar har batterier baserade på litium i någon kemisk konstellation. Mer vardagligt uttryckt beskrivs elbilsbatterier som ”litium-jon”-batterier men det är viktigt att notera att detta enbart är en gruppbenämning där flera batterityper ingår. Inom denna grupp skiljer sig batteriernas karakteristik från varandra beroende på dess kemiska sammansättning och kommer ge uttryck både för dess prestanda och hållbarhet. Varje kemisk struktur har sitt eget utmärkande beteende och särskiljer sig från andra litiumföreningar när det kommer till faktorer likt urladdningskaraktistik, energitäthet, strömtålighet och arbetstemperaturer. (Batteriföreningen, 2011)

Som nämnts är batteriet känsligt för såväl höga som låga spänningar. Det är därför viktigt att batteriet varken laddas till dess att det är helt fullt eller används till dess att det är totalt uttömt. Ett begrepp som är centralat då batteriers hållbarhet undersöks är SOC (State Of Charge). Då batteriet är fulladdat är SOC-nivån 100 procent och då det är helt urladdat 0 procent. Ekvation 2.1 beskrivs hur SOC definieras.

$$SOC(\%) = \frac{\textit{kvarvarande batterikapacitet}}{\textit{total batterikapacitet}} \quad (2.1)$$

Forskning har visat att livslängden kan fyrdubblas då lägsta SOC-nivån går från 0 procent till 50 procent. Dock sker denna förbättring icke-linjärt och livslängden förbättras snabbare än laddningsgraden ökar. Det innebär att ett större batteri som används vid en SOC-nivå över dess minimala kan vara mer ekonomiskt och räckta längre än ett batteri med mindre kapacitet som laddas ut helt och hållet. För elbilar som är designade för långa körsträckor är det sannolikt att de sällan når en låg SOC-nivå med tanke på de kortare avstånd som vardagspendling ofta innebär. Av den anledningen skulle elbilar utrustade med batterier med högre kapacitet och samtidigt en begränsad maximal laddningsnivå leda till längre livslängd för batterierna (Arcus, 2016).

Genom att se till de faktorer som påverkar batteriets livslängd, temperatur, spänning och strömstyrka kan det konstateras att elbilar som är anpassade för längre distanser ofta är föredra om man vill förlänga dess hållbarhet. Det har redan konstaterats att sådana elbilar har en mindre risk att befinna sig vid en låg SOC. Tillsammans med en uppåt- och nedåt begränsad SOC-nivå, vanligtvis 80- respektive 20 procent, och termisk styrning kan dessutom spänningstoppar och höga temperaturer undvikas. Då batteriet är korrekt designat medför detta att dess livslängd kommer förbättras i takt med att de får större kapacitet och bilarnas räckvidd ökar. (Arcus, 2016)

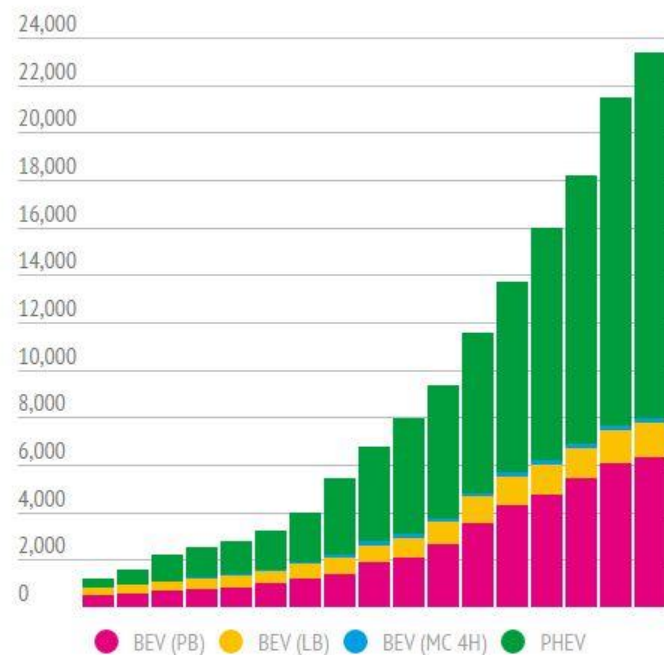
Detta resonemang bygger på att bilen enbart används för transportändamål. I fall då smart styrning införs och batteriet även ska utgöra energilager för ett hushåll eller ett elnät uppstår ytterligare en utmaning gällande minimerad påverkan för kunden. Ökad användning leder till att den önskade SOC-nivån riskerar att överskridas/underskridas och batteriets livslängd kommer påverkas negativt. Det är därför viktigt att ta hänsyn till begränsningarna gällande upp- och urladdningsgrad, temperaturskiftningar och strömstyrkor genom att anpassa tekniken innanför dessa ramar. Här uppstår en balansgång mellan hur stort batterislitaget kunden är villig att riskera gentemot en ökad nät- eller hushållsnytta. (Haines, et al., 2009)

För att värdera batterislitaget som uppstår då V2H används kan en metod framtagen av Wang et al (2016) användas. I studien undersöks batterislitaget som uppstår då elbilen används för tre olika nättjänster - kapning av effekttoppar, frekvensreglering och netto-laststyrning. Batteriets laddningsmönster för netto-laststyrning är det som stämmer bäst överens med laddningsmönstret kopplat till V2H och därför väljs denna nättjänst som underlag för kostnadsuppskattning av batterislitaget för denna studie.

I fallet netto-laststyrning utgår Wang et al (2016) från att elbilens batteri är tillgänglig för nättjänsten under hela dygnet (förutom de timmar elbilen används som transportmedel) under tjugo dagar per år under en tioårs-period. I studien undersöks två scenarier för denna styrning. Det första har en laddningseffekt på 1,44 kW när bilen är inkopplad vid hemmet och 7,2 kW när den är inkopplad vid arbetsplatsen. Det andra har motsvarande en laddningseffekt på 7,2 kW vid både hemmet och arbetsplatsen. Vid arbetet är elbilen tillgänglig för tjänsten ca 7 h per dag och vid hemmet ca 13 h per dag. Det beräknade slitaget per dygn för scenarierna uppgick till 0,0059 respektive 0,013 procent av batteriets kapacitet.

### 2.2.3 Marknadsläge & teknikmognad

Idag, hösten 2016, finns det totalt 25 870 elbilar i Sverige varav 67 procent är laddhybrider och 33 procent är fullelektriska. Detta visar på en tillväxt på 89 procent under det senaste året och prognosen för årsskiftet är att det ska finnas 28 000 elbilar av dessa slag på vägarna. I figur 2.2 visas ökningen av olika elbilstekniker i landet per kvartal mellan år 2012-2016. BEV är den engelska förkortningen för fullelektriska elbilar som här delats upp i tre olika grupper, PB, LB samt MC 4H. Dessa representerar registrering som personbil, lätt lastbil respektive fyrhjulig motorcykel. PHEV är på motsvarande sätt förkortningen för el-hybrider. (Power Circle , 2016)



Figur 2.2 Antalet elbilar per kvartal mellan åren 2012-2016. (Power Circle , 2016)

Förklaringarna för denna snabba tillväxt är många. Dels har flera fått upp ögonen för tekniken då flera biltillverkare lanserat eldrivna alternativ vilket gjort att tillgängligheten ökat. Idag existerar över 20 olika hybrid- och full elektriska bilmodeller framtagna av ett dussin av de största biltillverkarna i världen (plugincars, 2016). Prisgapet mellan elektrifierade personbilar och de fossila motvarigheterna har också minskat något vilket gjort att flera kunder överväger tekniken vid ett bilköp. En bakomliggande orsak för att flera aktörer idag erbjuder elektrifierade alternativ och som också möjliggjort denna utjämning av inköpspriser är teknikens allt högre mognadsgrad. Förbättrade batterier när det kommer till livslängd och kapacitet gör att fordonen kan användas utan att rubba redan inkörda användningsmönster. Batteriutvecklingen svarar framförallt för de stora kostnadslättnaderna för elbilsproduktionen och bara mellan åren 2007-2014 sjönk kostnaderna för batteriet från 8600 kr/kWh till 2600 kr/kWh. Detta motsvarar en minskning med 70 procent. För att synliggöra effekten av en sådan produktionsbesparing kan Teslas fullelektriska modell S betraktas. År 2007 var kostnaden för batteriet 516 000 kr för att år 2014 minska till 156 000 kr. (Nykvist & Nilsson, 2015)

För att elbilar ska kunna konkurrera helt och hållet med fossildrivna fordon krävs dock en minskning av batterikostnaderna ner till 100 USD/kWh, vilket motsvarar en kostnad på ca 850 kr/kWh. Denna nivå är en målsättning som förväntas infalla i början av 2020-talet. (IEA, 2016) Elfordon innebär redan idag mycket lägre driftkostnad än de fossila motvarigheterna på grund av de lägre bränsle- och servicepriserna och om också inköpspriserna jämnades ut mellan fordonstyperna skulle det sannolikt innebära en kraftig ökning av antalet eldrivna fordon. (Nykvist & Nilsson, 2015)

Även batteriernas kapacitet förväntas att öka i framtiden. Nissan har tidigare i år gått ut med att deras fullelektriska modell, Leaf, ska utrustas med batterier med kapacitet upp till 60 kWh jämfört

med dagens kapacitetsnivå på runt 25 kWh. Detta förväntas ske under tidigt 2020-tal under förutsättningen att priset på batterier når den nivå då de är konkurrenskraftiga jämfört med de fossildrivna alternativen, vilket kommer tas upp senare under detta kapitel.(Cobb, 2016).

Laddinfrastrukturen för elbilar för laddning vid hemmet (3,7 kW, 16 A) kostar idag runt 10 000 kronor (E.ON, 2016 b). När elbilen ska användas i smarta laddningssystem som V2H, krävs en mer avancerad laddbox med AC/DC-omvandling som beskrivits i delkapitel 2.1.1 Vehicle-to home (V2H). Idag har denna typ av laddbox en hög kostnad, men denna spås minska i takt med att tekniken utvecklas. När smarta laddningssystem liknande V2H är kommersiella antas laddinfrastrukturen kosta ca 10 000 kronor (Messer Thomsen, 2016).

Den snabba utvecklingen av tekniken kring elbilar gör att det kan vara nödvändigt att omvärdera de gamla prognoserna för framtidens fordonsflotta och i många fall tidigarelägga flera av de etappmål som sats upp angående antal elbilar. För att denna ökning ska kunna fortsätta enligt samma trendmönster måste dock stora investeringar i infrastruktur göras i landet. Inte minst för att på ett smidigt sätt integrera elbilarna med elnätet. (Nilsson, 2016) När det kommer till den framtida elbilsmarknaden varierar prognoserna om antalet elfordon kraftigt. Utredningen om en fossilfri fordonsflotta som togs fram på begäran av regeringen år 2013, den så kallade FFF-utredningen, spår en mycket långsam utveckling av antalet elbilar i Sverige, där elbilarna inte förvänts bidra med genomslag på stor skala förrän först efter år 2030. I utredningen bedöms antalet elbilar vara ca 15 procent först år 2050 (Statens offentliga utredningar, 2013). Med dagens snabba tillväxt som ligger närmare en fördubbling årligen de senaste åren är det många som tror på en mycket snabbare ökning. Vattenfall gör ett uttalande om att deras vision är att en miljon elbilar ska finnas i Sverige år 2030 (Vattenfall, 2016). Med en personbilsflotta på 5 638 000 bilar som spås enligt Energimyndigheten skulle det innebära att knappt 20 procent av personbilflottan är eldriven (Hansson & Grahn, 2013). Power Circle, elkraftbranschens intresseorganisation för framtidsfrågor, är än mer optimistisk och tror att elbilflottan kommer uppnå 40 procent till 2030 (Aktuell hållbarhet, 2016). Rapporten ”Utsikt för förnybara drivmedel i Sverige” som utkom år 2013 speglar denna stora osäkerhet i prognoserna för år 2030. I rapporten redovisas en spridning från 10 procent till nästan 100 procent eldrift av den svenska personbilflottan efter att samlat framtidsprognoser från olika aktörer inom branschen (Hansson & Grahn, 2013).

### 2.3 V2H – Nätperspektivet

En av de viktigaste uppgifterna för svenska elnätsföretag är att dimensionera näten för att kunna leva upp till en hög tillgänglighet. Med andra ord har företagen länge eftersträvat utbyggnaden av ett ”starkt elnät”. Begreppet syftar till ett nät som i alla lägen garanterar elleverans till de anslutna kunderna. Detta skapar en konkurrensfördel genom att elnätets uppbyggnad tillåter att en verksamhet som använder el kan etablera sig helt oberoende geografisk placering. Grundidén har varit att varje kund alltid ska ha tillgång till den eleffekt den abonnerar på. De förändringar som nu sker inom elnäten utmanar denna filosofi och nya lösningar måste tas fram för att garantera ett starkt nät.(Lindén, 2015) I detta avsnitt beskrivs de nättekniska utmaningar som kan uppstå



vid varierande nätbelastning och de nyttor som teknik likt V2H kan erbjuda elnätet för reglering av belastningen.

### 2.3.1 Överbelastningar och nätförluster

Hur starkt ett nät är beror främst av två faktorer; tvärsnittsarean på ledningar och kablar samt transformatorns märkeffekt. Den sistnämnda definieras av den nominella effekt som transformatorn är designad att belastas med. Tillsammans med kabeldesignen bestämmer denna faktor nätets överföringskapacitet. Rent tekniskt utgörs komponenternas överföringsförmåga av den högst tillåtna drifttemperaturen infrastrukturen klarar av. Drifttemperaturen bestäms av strömmens storlek, omgivningens temperatur, eventuell kylning och till viss del den vågform som strömmen antar. (Bollen, 2010)

Innan vidare beskrivning ges av de nättekniska perspektiv som rapporten behandlar är det nödvändigt att ge en mindre introduktion till några elektriska begrepp som tas upp i arbetet. Eftersom att växelspanning används i de system som undersöks kommer både aktiv och reaktiv effekt att förkomma. Tillsammans utgör dessa den skenbara effekt som mäts i VA. När överbelastningar beräknas är det den skenbara effekten som betraktas. Dock är det enbart den aktiva effekten som utför arbete och kan tillgodogöras av kunden. Det är alltså önskvärt att minimera den reaktiva effekten i så stor utsträckning som möjligt. Denna effekt uppkommer när ström och spänning inte är i fas vilket är ett resultat av de induktiva och kapacitiva delarna av impedansen. Reaktiv effekt mäts i var (voltampere reaktiv).

Den faktiska effekt som transformatorn hanterar är resultatet av det sammanlagrade effektuttaget från distributionsnätets kunder. Då denna effekt överstiger märkeffekten ökar också drifttemperaturen över den tillåtna nivån genom det fysikaliska samband mellan effekt och strömstyrka som visas nedan i ekvation 2.2 i vilken den reaktiva effekten är exkluderad. Ekvationen beskriver på så vis också de värmeförluster som kan uppstå i lokalnätets ledningar. Resistansen i kablarna är i stort sett konstant vilket innebär att förlusterna växer kvadratisk med strömmens storlek. För att minimera dessa förluster kan man utnyttja sambandet i ekvation 2.3 som beskriver belastningen i nätet (även denna förenklad likt 2.2) genom att hålla en hög spänning i lokalnätet. Ett elnät är dock designat efter en viss spänningsnivå vilket leder till att stora effektuttag inte kan kompenseras på detta vis. Därför riskerar överbelastningarna leda till överhettning av ledningarna och accelerera åldrandet. (Ericsson, 2010). År 2012 uppgick de totala nätförlusterna i svenska lokalnät till 3,73 TWh vilket motsvarar förluster på ca 4 procent av den inmatade elenergin (Jäderberg, 2015).

$$P_{förlust} = R \times I^2 \quad (2.2)$$

$$P_{last} = U \times I \quad (2.3)$$

Ett svagt nät drabbas typiskt sådana överbelastningar som ett resultat av höga effekttoppar. Dock är de svenska näten designade för att klara att hantera ett visst överuttag under kortare

tidsperioder. Skulle överbelastningarna trots detta bli för stora för att nätet ska uppfylla de ställda leveranskraven uppstår ett behov av nätförstärkning. Denna gräns bedöms ligga vid överbelastningar vilka överskrider 13 procent av den effektnivå som ledningarna är designade att hantera. Detta motsvarar den effektskillnad som uppstår då kabeltemperaturen varierar mellan 65°C och 90°C. Den förstnämnda är den temperatur som ej får överskridas under längre perioder och den sistnämnda representerar den gräns som inte ens under kortare perioder får passeras. De nätförstärkande åtgärder som i sådana situationer kan bli aktuella är till exempel ansluta ytterligare eller kraftigare transformatorer, ledningar eller kablar (Ericsson, 2010).

Enligt rapporten "Framtida krav på elnäten" utförd av Elforsk år 2014 förutspås den framtida elbilsuppladdningen under 2030-talet ge upphov till nya effekttoppar i distributionsnäten. Den största ökningen förväntas ske i nätstationer i lokalnät i ytterstadsområden. Dessa områden definieras av kabelnät i en stads ytterområden som domineras av tätare villakvarter eller flerbostadshus i öppna kvarter. Enligt rapporten ökar effekttopparna över dessa nätstationer med 40 procent. Med den i dagsläget installerade nätinfrastrukturen skulle en sådan ökning medföra att 30 procent av dessa lokalnät inte klarade av effektbehovet. I rapporten konstateras på så sätt att behovet av förstärkningar ökar med elbilsflottan. Det finns därför en teknisk såväl som ekonomisk vinst för elnätsföretagen att hitta en teknik för att minska elbilarnas påverkan på näten (Damsgaard, et al., 2014).

### 2.3.2 Spänning

Det behov som finns av att hålla en bestämd spänning i elnätet har redan i föregående stycke beskrivits. Denna parameter är direkt kopplad till både leverans kvalitet och eventuellt slitage på kraftutrustning. Skulle spänningen variera mycket under kortare tid, till exempel på sekundnivå, blir det direkt märkbart hos de anslutna nätkunderna som då kan uppleva en ojämn eller leverans genom att framförallt glödlampor "flimrar". Även långsiktigt måste spänningen hållas inom ett intervall om +/- 10 procent att inte skada utrustningen. För att undvika sådana spänningsavvikelser måste spänningsnivån hela tiden regleras. Denna reglering sker i överliggande transformator (som matar nätstationen) med hjälp av att en lindningskopplare reglerar spänningsomsättningen genom att förändra kopplingen av transformatorns lindningsvarv. Dock är denna åtgärd begränsad och stora spänningsfall kan enligt tidigare resonemang orsaka förluster. (Ericsson, 2010). Skulle spänningen minska med mer än 10 procent bedöms det allvarligt nog att motivera att någon typ av spänningshöjande åtgärd genomförs.

### 2.3.3 Överliggande nät

De två tidigare avsnitten har behandlat nättekniska problem som kan uppstå vid stora effekttoppar och nyttan av att undvika dem. Ytterligare en aspekt som kan komma att slå mot elnätsföretagen då effektbehovet i nätet ökar, som dock ej har synlig påverkan på infrastrukturen, är effektuttaget från överliggande regionnät. En av anledningarna till att elnätsföretagen tar ut en avgift från sina kunder är för att täcka företagets egna avgifter mot överliggande nät. På samma sätt som kunden abonnerar utrymme på nätet betalar lokalnätsägaren en avgift mot regionnätet

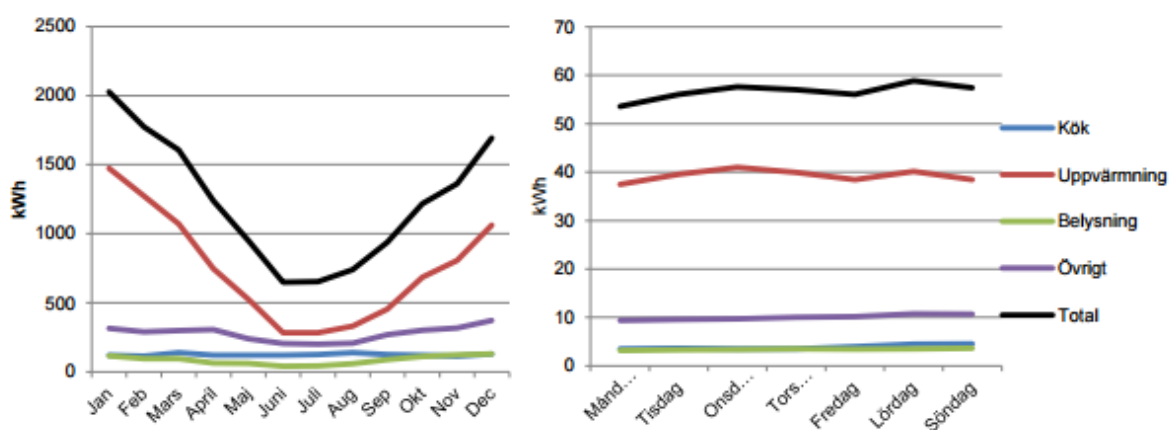
för det effektuttag som förväntas behövas för att täcka kundernas behov. Denna avgift består av två kostnadsposter, dels en fast kostnad men också en avgift för eventuellt överuttag. Hur den sistnämnda avgiften bestäms varierar beroende på vilket företag som äger regionnätet. Exempel på detta är att avgiften kan delas upp i ytterligare två poster, en straffavgift eller ett tillfälligt abonnemang. Det sistnämnda kan dock bara användas under ett enstaka eller fåtal gånger under en årsperiod. Skulle ytterligare överuttag ske ökar straffavgiften väsentligt. Ytterligare en möjlighet som kan inträffa är att lokalnätsföretaget också äger regionnätet. I dessa fall genomförs en transaktion för abonnerad effekt men går tillbaka till den egna verksamheten. Oavsett är dessa abonnemang kostsamma för lokalnätsägaren och det är på så vis fördelaktigt att minska och jämna ut effekttoppar som uppstår i nätet för att minska sina kostnader mot regionnätet. (Thuring, 2016)

### 2.4 V2H - Kundperspektivet

Hushållens förbrukningsprofiler har vanligtvis tydliga effekttoppar under morgon och kväll. Som tidigare nämnts kan dessa potentiellt reduceras med hjälp av V2H-teknik. Särskilt stor potential finns för eluppvärmda hushåll under vintermånaderna då lasten är hög. Dock visar undersökningar att kunden skulle komma att kräva någon typ av ersättning för att upplåta sitt elbilsbatteri till en extern part. Hur stor ersättningen ska vara och i vilken form kräver antagligen mer kunskap och kundunderlag för att avgöra. Vid implementering av V2H-styrning är det viktigt att respektera elbilens roll som transportmedel och även ha förståelse för att styrningen kan ses om ett intrång i kundens privatliv.

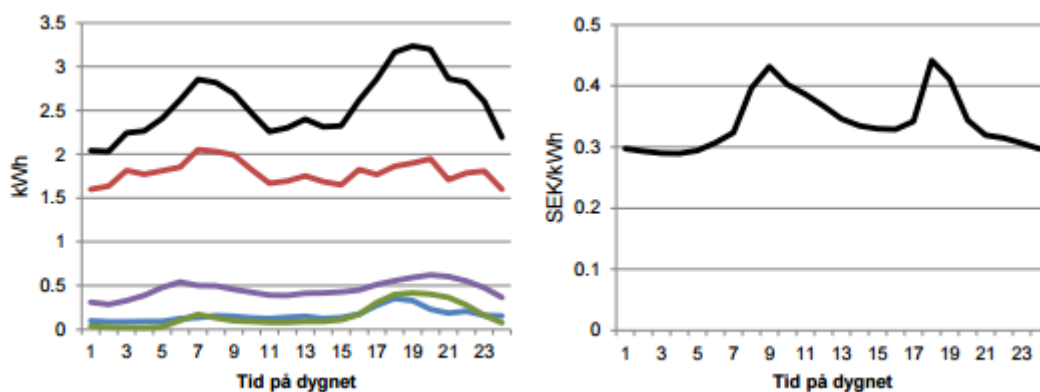
#### 2.4.1 Hushållens elförbrukning

Hushållsförbrukningen av el följer i de flesta fall ett mönster som styrs av de vardagliga rutinerna, samt i eluppvärmda områden av utomhustemperaturen. Effekttoppar syns i förbrukningskurvorna på morgonen samt sen eftermiddag/tidig kväll. Förbrukningen ligger även på en högre nivå under vintermånaderna på grund av uppvärmningsbehovet. Ur datamaterial från Energimyndigheten som presenteras i en rapport av Broberg et al (2014) kan detta åskådliggöras. I figur 2.3 visas elförbrukningen för ca 400 hushåll och det syns tydligt att förbrukningen är betydligt högre under vintermånaderna. I det vänstra diagrammet syns att uppvärmning utgör en stor del av den totala elanvändningen.



Figur 2.3 Elförbrukning (månadsvärden) för 400 villor under året (t.v) samt uppdelad på olika förbrukningsposter (dygnsvärden) under en vecka (t.h) (Broberg, et al., 2014)

I figur 2.4 visas elförbrukningen i en medianvilla under en arbetsdag i februari. Det syns att det uppstår effekttoppar under morgon och tidig kväll. Till höger i bild syns spotpriset för samma dag och man kan se att elpriset är högre under höglasttimmarna även om kurvorna inte följer varandra fullt ut.



Figur 2.4 Elförbrukning (timvärden) för medianvillan under en arbetsdag i februari (t.v) samt spotprisets variation under samma dag (t.h) (Broberg, et al., 2014)

En ökad elbilsanvändning kommer leda till en högre elförbrukning och även förstärka effekttopparna under höglasttimmar då elbilen kommer laddas när den kommer hem för dagen under förutsättning att ingen styrning av elbilsladdningen sker. Detta är speciellt kritiskt under vintern i eluppvärmda områden då förbrukningen redan är hög. Om laddningen kan styras till timmar med lägre last i kombination med att bilens batteri kan användas för inmatning till hushållet under höglasttimmarna kan detta underlätta för nätet.

#### 2.4.2 Hushållskundens flexibilitet och ersättningskrav

För att nätoperatören ska kunna utnyttja elbilens batteri i hushållen krävs att kunden är villig att ingå i en tjänst som genom ekonomisk ersättning ger nätoperatören möjlighet att styra elbilens batteri. För en sådan tjänst spelar kunden en mycket stor roll, då det är kunden som väljer vilken

typ av elbil samt hur mycket av batteriet som är tillgängligt för tjänsten beroende på körmonster. Det krävs framför allt även att en stor andel kunder har en elbil.

### **Batterikapacitet och räckviddsoro**

Enligt en studie av Grahn och Söder (2011) är ett av de största hoten för elbilen osäkerheten kring räckvidden. Räckviddsoron till följd av begränsad batterikapacitet listas alltså som det största hindret för den fullelektriska elbilen även om dagens batteristorlek är tillräcklig för att täcka de flesta dagliga resor. Enligt Falås och Troeng (2010) är det endast 3 procent av alla resor som är längre än 10 mil och det är då räckviddsaspekten kan vara ett problem. Batteriutvecklingen gör stora framsteg och som tidigare nämnts spås en batteristorlek på 60 kWh år 2030 vilket ger en räckvidd på ca 50 mil. Enligt en studie av Knutsén och Willen (2013) minskar räckviddsoron exponentiellt när batteristorleken ökar, men det krävs en batteristorlek på över 100 kWh för att göra räckviddsoron i de närmaste obefintlig. I studien används Markov-chainmodell och varje gång elbilens batteri har nått minimum SOC (State of charge) har detta gjorts ekvivalent med att elbilsanvändaren har räckviddsproblem/räckviddsoro. Denna aspekt är mycket viktig att ha i åtanke vid styrning av elbilen, då slutanvändarna alltid måste ha en laddningsnivå med god marginal till sin nästa resa för att känna sig trygg med upplåtelsen av sin elbil.

I ett V2H-perspektiv kommer kunden upplåta en del av kontrollen av sin elbilsladdning och urladdning till nätoperatören som är en tredje part. I sin studie kring kundperspektiv för elbilen på elmarknaden slår Grahn och Söder (2011) fast att när elbilens batteri ska användas av en tredje part är det viktigt för kunden med ett enkelt och förståeligt system. Användargränssnittet bör vara tydligt och det ska vara enkelt för kunden att själv kunna bestämma och kommunicera vilken laddningsgrad som behövs inför nästa körtillfälle. Att detta efterlevs är mycket viktigt för att inte skapa en ökad räckviddsoro enligt tidigare diskussion.

### **Ersättning**

För att få kunden att anpassa sitt beteende för att ingå i ett avtal med en nätoperatör som vill utnyttja bilens batteri krävs någon form av ersättning. Det krävs även en bindande överenskommelse för att bilen verkligen är inkopplad de tider som angivits för att tekniken ska fungera. Ersättning behöver enligt Grahn och Söder (2011) sättas i perspektiv till hur stor nätnyttan är. De menar också att det finns två olika vägar att gå för att styra kunden mot att vilja ingå avtal. Den ena vägen är med hjälp av ”straff” för dem som inte deltar och därmed räcker en lägre ersättning för dem som deltar. Den andra vägen är enbart en mer frikostig ersättning för de som deltar. En fördel med en ersättningsmodell som inte bygger på straff menar författarna kan vara en mer positiv attityd från kunderna men det kräver att denna modell är ekonomisk försvarbar för nätföretaget som erbjuder tjänsten. Att använda elbilsbatteriet som energilagring och effektutjämnande resurs kommer innebära ett extra slitage på batteriet. För att kunden ska känna sig mer bekväm med att upplåta sitt batteri menar Grahn och Söder (2011) att ett alternativ kan vara att den intressent som vill utnyttja batteriet eller bilen, äger den, och leasar den till kunden. Sammanfattningsvis menar författarna att det kommer krävas mycket inhämtning av respons från kunderna för att kunna skapa balanserade och vinstgivande affärsmodeller för denna typ av tjänster.

Broberg et al. (2014) har utfört en enkätundersökning över hur mycket ersättning kunden kräver för att ingå i ett avtal om efterfrågefleksibilitet för styrning av värmelast vilket till viss del kan liknas vid fallet med V2H-styrning. Enligt undersökningen ville kunderna ha 630 kronor årligen i ersättning för styrning av värmelast (maximal sänkning av inomhustemperatur med 2°C) under kvällstid varje dag mån-fre mellan 17-20. I studien presenteras även en undersökning för ersättning för styrning av hushållsel, framförallt diskmaskin, tvättmaskin och komfortgolvvärme, under samma tidsperiod. Då ville kunderna ha en ersättning på 1435 kr årligen. För styrning av både värmelast och hushållsel endast vid extremtillfällen som vid kyla eller begränsad elproduktion, krävde kunderna en ersättning på 44 kronor per dag av styrning. Denna styrning vid extremsituationer var mellan 07-20 och kunde inträffa vilken veckodag som helst och med en dags förvarning.

### **Den etiska aspekten**

För kunden kan det kännas som ett intrång att låta sig styras av en extern part och vissa känner inte tillit till att ett energiföretag ska styras deras förbrukning. I huvudsak beror detta enligt Mert (2008) på att man tror att komforten ska försämras, vilket i V2H-fallet kan översättas till ett överutnyttjande av batteriet kommer leda till en mer begränsad körsträcka än planerat. Grahn och Söder (2011) menar att det även kan finnas ett visst motstånd mot att delge information kring sina vanor till en utomstående part och låta sig övervakas. För att respektera kunden är det viktigt att ta ovanstående i beaktning vid utformning av tjänsten.

## **2.5 Elmarknaden och dess framtidsutsikter**

Elmarknaden består av två flöden, dels det fysiska flödet i form av elektricitet som levereras från producent till kund via elnätet samt det ekonomiska flödet som går från kunden till de monopoldrivna elnätsföretagen och till elproducenter genom den avreglerade elhandeln på den gemensamma nordiska marknaden. Hela elsystemet står inför en omställning i produktionsstruktur med mindre planerbar baskraft och mer icke-planerbara energislag av förnybar karaktär. Denna förändring kommer påverka elmarknaden och nya strukturer måste växa fram för att möjliggöra omställningen till det nya elsystemet. En marknad som spås bli mer konsumentstyrd än producentstyrd kräver både nya tekniska lösningar, betalningsätt och marknadsstrukturer.

### **2.5.1 Elmarknadens uppbyggnad**

#### **Aktörer på dagens elmarknad**

##### ***Elproducenter***

Elproducenter producerar fysisk el i sina anläggningar och denna el transporteras sedan vidare till elanvändare genom elnätet. Sveriges elproduktion består idag till största delen av vattenkraft och kärnkraft. År 2015 stod vattenkraften för 47 procent av elförsörjningen och kärnkraften för 34 procent. Resten producerades med vindkraft (10 procent) och värmekraft (9 procent) (Hellström,

2016). Den svenska elproduktionen kompletteras även vid behov av direkt import och export till och från nordiska länderna samt Tyskland, Polen, Ryssland, Estland och Nederländerna. (NordPool, u.d.)

### ***Elhandelsföretag***

Elhandelsföretagen köper el från producenterna eller genom den nordiska elbörsen NordPool, och säljer sedan elen till hushåll och företag. Elhandeln sker på en konkurrensutsatt marknad och kunderna kan välja fritt från vilket elhandelsföretag de vill köpa el inom det egna landet. (Swedish smartgrid, a) 2015 fanns det ca 120 elhandelsföretag på den svenska elhandelsmarknaden. (Energimarknadsinspektionen, 2015)

### ***Balansansvariga***

Ett elhandelsföretag eller en kraftproducent har ofta även rollen som balansansvarig. De har då som uppgift att se till att ekonomisk balans råder mellan tillförsel och uttag av el i de inmatnings- och uttagspunkter de är ansvariga för. Företaget innehar då ett avtal om balansansvar med Svenska kraftnät. Enligt ellagen måste det finnas ett balansansvarigt företag för varje inmatnings- och uttagspunkt i elnätet. (Energimarknadsinspektionen, 2015)

### ***Elbörsen***

NordPool spot är den gemensamma nordiska elbörsen där nästan all fysisk handel med el genomförs. NordPool är uppdelad i två fysiska marknader, Elspot och Elbas. På Elspot fastställs ett elpris (spotpriset) ett dygn i förväg för varje timme på dygnet baserat på de samlade köp- och säljbuden i det aktuella området. På grund av överföringsbegränsningar och ojämn spridning av landets elproduktion kan olika områden ibland få olika spotpris. På Elbas har aktörerna möjlighet att justera och rätta till de obalanser som eventuellt uppkommer efter att Elspotmarknaden har stängts. På Elbas kan handel ske fram till en timme före leverans. Det finns även en finansiell marknad för el på Nasdaq OMX Commodities. Där kan långsiktiga kontrakt handlas och det finns möjlighet för prissäkring för att skydda sig från variationer i spotpriset. (Svensk energi, 2016)

### ***Systemansvariga***

Rollen som systemansvarig i Sverige innehas av Svenska kraftnät. De har som uppgift att se till att det råder balans mellan produktion tillsammans med import och förbrukning tillsammans med export under dygnets alla timmar. (Swedish smartgrid, a) Utöver systemansvaret har Svenska Kraftnät ansvar för att förvalta, driva och utveckla stamnätet som förser de regionala och lokala elnäten samt utlandsförbindelserna med el (Energimarknadsinspektionen, 2015).

### ***Nätägare***

De svenska elnäten på lokal och regional nivå är de som ägs och drivs av nätägarna. Regionnätet är anslutet till stamnätet och transporterar el på en spänningsnivå av 40-130 kV främst till lokalnätet men även till vissa storkonsumenter av el, som exempelvis större industriföretag. I regionnäten finns ca 1600 gränspunkter mot lokalnät och i dessa gränspunkter kallas regionnätet för överliggande nät till lokalnätet. Regionnäten i Sverige ägs till största del av de tre största elnätsföretagen E.ON, Ellevio och Vattenfall. (Eriksson & Pettersson, 2016) På lokalnätsnivå finns det ca 160 elnätsföretag som äger och driver dessa. Spänningsnivån är från 40 kV ned till

400/230 V som är den spänningsnivå som levereras till hushållen. Elnätsföretagen verkar på en naturlig monopolmarknad och kunderna är anvisade till det elnätsföretag som äger nätet i det område de befinner sig. (E.ON, 2016 a)

### ***Slutanvändare***

Slutanvändare är de hushåll, företag och industrier som förbrukar elen. Kunden har ett avtal med ett elhandelsföretag och ett med den nätägare som äger området elnät. Elhandelspriset består av elhandelskostnad per kilowattimme (som bestäms av spotpriset), energiskatt och moms. Elhandelspriset kan vara antingen fast eller rörligt eller en kombination. Nätavgiften består av en fast del som är en abonnemangskostnad som är beroende av storlek på huvudsäkring. Storleken på huvudsäkringen beror på hur stor förbrukning kunden har. Den rörliga delen av elnätspriset är en överföringsavgift per överförd kilowattimme. (Svensk energi, 2015)

### ***Myndigheter och verk***

Det finns ett antal olika myndigheter och verk som påverkar elmarknaden. Två av de viktigaste med mest inflytande är Energimarknadsinspektionen (EI) och Energimyndigheten. Energimarknadsinspektionen är en statlig myndighet som har som uppdrag att sköta tillsynen av el-, fjärrvärme- och naturgasmarknaderna. Speciellt stor betydelse har EI för elnätsverksamheten, då det är EI som sätter upp reglerverk och bestämmer intäktsramen för elnätsföretagen. Dessa grundar sig på ellagen (1997:857) och andra lagar och regler som t ex EU-förordningar. (Energimarknadsinspektionen, 2015) Energimyndigheten är även det en statlig myndighet som verkar för att skapa en långsiktigt hållbar energianvändning. Detta gör de genom att hjälpa aktörerna på den svenska energimarknaden att uppnå de energimål som riksdagen satt upp genom bl a utvecklingsstöd. (Energimarknadsinspektionen, 2015) Energimyndigheten är involverade i många projekt som rör elsystemets framtida utformning, några exempel är Smartgrid Gotland och Smarta nät Hyllie. (Energimyndigheten, 2016)

### **Dagens marknadsmodell**

Idag sätts elpriserna på den svenska (nordiska) elmarknaden till största del enbart med hänsyn till energi, man brukar kalla den för en "energy only-marknad". För att ändå skapa en trygghet för att effektbrist inte ska uppnås upphandlas en effektreserv av Svenska kraftnät. Även elnätsavgifterna är, utöver säkringsavgiften, i de flesta fall baserade på en överföringsavgift som styrs av hur mycket elenergi som förbrukas. Energibaserad prissättning har fungerat bra under de rådande förhållandena med ett stort utbud av planerbar kraft i form av vattenkraft och kärnkraft, den så kallade baskraften, där kapacitetsbrist och stora prisvariationer inte har varit ett större hot (IVA, 2016 a).

## 2.5.2 Framtidens elmarknad

### **Förändringar**

Den svenska elmarknaden spås genomgå stora förändringar de kommande åren på grund av flera faktorer. Nedan följer några av de anledningar som anses vara bland de viktigaste (Åhman, 2016).



- Minskning av planerbar baskraft
- Ökning av förnybar och oplanerbar kraft
- Utbyggnad av elektriska förbindelser till Europa
- Ökad mikroproduktion
- Elektrifiering av transportsektorn
- Urbanisering
- IT-utveckling

En minskning av den planerbara baskraften som istället ersätts med förnybara resurser tillsammans med mikroproduktion hos konsumenter och en ökande andel elfordon kommer sammantaget leda till ett mer decentraliserat elsystem. Detta kommer leda till ett ökat antal aktiva aktörer på elmarknaden och en högre belastning på region- och framför allt lokalnäten. För att klara dessa utmaningar krävs en genomtänkt koordinering av alla aktörer där IT-utvecklingens intåg på elmarknaden spås vara nyckeln. Det kommer även krävas en mer aktiv användarsida som möjliggör en anpassning av elkonsument efter tillgång. Förändringarna kommer högst troligt leda till förutsättningar för nya marknader där konsumenter, producenter och så kallade prosumenter (som både konsumerar och producerar el) kommer spela viktiga roller. (IVA, 2016 b)

### **Det smarta elnätet**

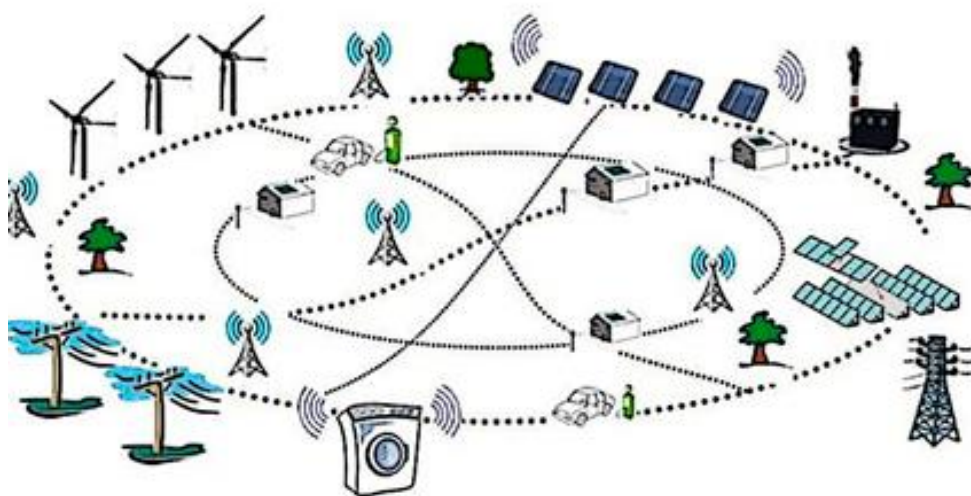
Ett begrepp som växt sig allt starkare under senare år är Smarta elnät och definitionen av ett smart elnät lyder

”Ett elnät som kostnadseffektivt kan integrera beteenden och beslut hos alla användare som är anslutna till det – elproducenter, elkonsumenter och de som är både och – för att garantera ett hållbart kraftsystem med låga förluster och hög kvalitet, försörjningstrygghet och säkerhet”

(Swedish Smartgrid, b)

Ett smart elnät är en modernisering av det befintliga nätet med digital teknik för att möjliggöra högupplöst datauppsamling samt tvåvägskommunikation mellan enheter i nätet. Digital reglerteknik som gör det möjligt att styra dessa flöden på olika signaler binder ihop elnätet till ett smart nät som kommunicerar i varje enhet. Målet med det smarta elnätet är att elenergi ska kunna användas på ett mer effektivt sätt och att det ska underlätta för en ökad införsel av förnybara energikällor och mikroproduktion. Ett smart elnät involverar även kunderna och gör dem mer medvetna om sin konsumtion och möjligheter att påverka den. I det smarta hemmet som är en viktig del av det smarta elnätet kan elektriska apparater styras och kommunicera med varandra för att optimera elanvändningen. (Sami, 2015)

Figur 2.5 visar de olika funktioner som kommer spela en betydande roll i ett smart elnät



**Figur 1.5 Ett smart elnät binder samman central kraftproduktion med småskalig produktion, lagring och elfordon genom smart kommunikation mellan alla enheter. (CESI, 2017)**

I figuren visas hur den centrala kraftproduktionen kompletteras med vind- och solkraftsläggningar i allt större utsträckning samt mindre lokala energiresurser ute hos kunderna. Möjligheten att lagra energi i batterier och andra typer av energilagrar finns både ute i nätet på mellanspanningsnivå och lokalt nära kundanslutningar. Smarta mätare och trådlös kommunikation ser till att alla enheter kommunicerar och styr lagring, konsumtion och produktion för att uppnå en hög energi- och kostnadsmässig effektivitet.

### **Efterfrågefleksibilitet och energitjänster**

Med en utveckling mot ett smart elnät kommer även nya marknader växa fram. En mer aktiv användarsida som kan styras efter tillgång och efterfrågan och även styra sin produktion efter prissignaler kallas efterfrågefleksibilitet. Det finns både passiv och aktiv efterfrågefleksibilitet. En passiv efterfrågefleksibilitet innebär att en utomstående aktör styr kundens förbrukning och flyttar den från timmar med hög belastning till låglasttimmar. Detta kallas för DSM (Demand Side Management). Vid sådan styrning är det viktigt att undvika problem som kan uppstå, exempelvis återkommande last eller utebliven lastförflyttning, som kan påverka nätdriften negativt. Vid en aktiv efterfrågefleksibilitet är det kunden själv som styr sin konsumtion efter prissignaler, såsom spotpriset eller nättariffer. Denna typ av styrning kallas för Demand Response (DR). En aktiv efterfrågefleksibilitet ger ett mer okomplicerat händelseförlopp och kunden kan själv välja hur den vill påverka sin förbrukning. Detta kan dock ha negativ påverkan för balansansvariga då det blir svårare att förutspå kundförbrukningen. (Sweco, 2014)

Efterfrågefleksibilitet kan ses som en typ av energitjänst, vilken enligt Europaparlamentets och rådets direktiv (2012/27/EU) har definitionen

”den fysiska vinst, nytta eller fördel som erhålls genom en kombination av energi med energieffektiv teknik och/eller åtgärder, som kan inbegripa den drift, det underhåll och den kontroll som krävs för tillhandahållandet av tjänsten, som tillhandahålls på grundval av ett avtal

och som under normala förhållanden påvisats leda till kontrollerbar och mätbar eller uppskattad förbättrad energieffektivitet och/eller primärenergibesparingar”

Sedan 2014 måste elnätsföretag enligt lag lämna ut mätdata från sina slutanvändare på begäran från kunden. (EIFS 2014:7) Alla kunder med ett säkringsabonnemang om högst 63 A har även sedan 2012 rätt att få timvis mätning utan extra kostnad (Energimyndigheten, 2014). Dessa beslut tillsammans med en utveckling mot smarta elnät öppnar upp för nya möjligheterna för en betydande energitjänstemarknad i elsystemet.

### **Framtidens marknadsmodell och prissättning**

För att få spelregler som gör elmarknaden så kostnadseffektiv som möjligt behövs en marknadsmodell som styr i den önskade riktning. Den önskade riktningen kommer i sin tur från politiska beslut som påverkas av EU-beslut och den globala energipolitiken. Det kan diskuteras om en renodlad energy-only marknad är det mest lämpade typen av marknad för framtidens elmarknad. Med en stor andel förnybar och oplanerbar produktion i elsystemet blir leveranssäkerheten hotad på en energy-only marknad. Därför kan det behöva införas någon typ av kapacitetsmekanism. Detta innebär att det förs in en funktion på marknaden som gör att den tillgängliga kapaciteten blir större än vad den skulle varit i en ren energy-only marknad för att säkerställa leveranssäkerheten. (IVA, 2016 a)

På dagens elmarknad betalar kunderna för elhandel och elöverföring. Elhandelspriset är oftast fast eller rörligt, där rörligt elpris baseras på det genomsnittliga börspriset per månad. Som nämdes under tidigare delkapitel har kunder från och med 2012 möjlighet att bli debiterade per timme utan extra kostnad. Denna prissättning är en förutsättning för att kunderna ska kunna delta på elmarknaden och styra sin elförbrukning efter aktuellt spotpris. Elnätspriset, eller elnättariffen, är idag oftast en fast summa och en överföringsavgift per överförd kilowattimme. För att bättre spegla kostnaderna för elnätet kan en så kallad effekttariff användas. Denna tariff används idag för kunder med säkringsstorlek över 63 A och innebär att man betalar för sitt maximala effektuttag på månads- eller årsbasis. Om denna tariff skulle införas även för kunder med lägre säkringsstorlek skulle incitament skapas att minska sin maxförbrukning. Om effekttariffen dessutom kombineras med en tidsaspekt, till en så kallad tidsdifferentierad effekttariff, får kunden även incitament att minska sin förbrukning under högladdstimmor, men straffas inte om den använder hög effekt under de timmar då nätet har låg belastning. Ytterligare en typ av tariff är spetslasttariffen, vilket innebär att nättariffen är hög endast under extrema högladdstillfällen. (Sweco, 2014)

På en elmarknad med olika prissättningar, aktiva slutanvändare och ett större utbud av energitjänster finns en risk att det blir för många aktörer för att skapa en förstälig helhet för kunden. Därför finns det ett förslag från EI om att införa en så kallad elhandlarcentrisk modell som innebär att all kundkontakt sker genom elhandelsföretaget. Elhandlaren ska då även ta betalt för nätkostnaden och sedan vidarebefordra denna till nätägaren. (Energimarknadsinspektionen, 2013) På en marknad med efterfrågefleksibilitet och energitjänster blir det med denna elhandlarcentriska modell troligt att elhandlaren även blir en form av aggregator som samlar flera kunders resurser och aggregerar dessa innan de bjuds ut på marknaden. (Sweco, 2014)

### 2.6 Elnätsverksamhet

Elnätsverksamheten är en monopolverksamhet som styrs och regleras med hjälp av förutbestämd intäktsram. Detta gör elnätsverksamheten speciell och även svår att förstå då regleringen är komplicerad och kan upplevas som svår att sätta sig in i. De lagar och regler som gäller all verksamhet med el finns i ellagen och dessa måste elnätsföretagen förhålla sig till när de utformar sin verksamhet, bestämmer sina nättariffer och utformar eventuella energitjänster.

#### 2.6.1 Reglering och intäktsram

I Sverige drivs elnätsverksamhet som ett naturligt monopol. Energimarknadsinspektionen (EI) reglerar verksamheten och granskar skäligheten i anslutnings- och överföringsavgifter som elnätsföretagen tar ut av sina kunder. Regleringen är i form av en intäktsram som från och med 2012 bestäms på förhand och som gäller i fyra år. Intäktsramen ska täcka de kostnader elnätsföretaget har för att kunna bedriva sin verksamhet och garantera leveranssäkerhet. Den ska också ge elnätsföretagen en avkastning som ligger på en rimlig nivå för att kunna bedriva verksamheten. (Energimarknadsinspektionen, 2012) Från och med regleringsperioden 2016-2019 har det i regelverket som styr intäktsramen tillkommit incitament för mer effektivt utnyttjande av elnätet. Detta tillägg har sin grund i energieffektiviseringsdirektivet som implementerades i Sverige 2014. Detta medförde även ett tillägg i ellagen som lyder;

”När intäktsramen bestäms ska hänsyn tas till i vilken utsträckning nätverksamheten bedrivs på ett sätt som är förenligt med eller bidrar till ett effektivt utnyttjande av elnätet. En sådan bedömning kan medföra en ökning eller minskning av vad som anses vara en rimlig avkastning på kapitalbasen. Regeringen eller, efter regeringens bemyndigande, nätmyndigheten, får meddela föreskrifter om vad som avses med ett effektivt utnyttjande av elnätet.”

(Ellagen 1997:857 5 kap. 7 §)

De kostnader som intäktsramen ska täcka är uppdelade i kapitalkostnader samt påverkbara- och opåverkbara löpande kostnader. Kapitalkostnad är den kostnad för kapital i form av till exempel anläggningstillgångar som företaget har. Denna värderas med utgångspunkt i nuanskningsvärdet och avkastning med en real kalkylränta på 4,53 procent (fastställd av EI). Storleken på avkastningen påverkas både av kvalitén i verksamheten men numera även hur effektivt nätet nyttjas, vilket nämndes ovan. För att bedöma effektiviteten tas hänsyn till andelen nätförluster, kostnader för överliggande nät och nätbelastning. Denna sistnämnda del kan dock bara påverka intäktsramens storlek med fem procent.

De kostnader som är löpande och opåverkbara är kostnader för nätförluster, abonnemang mot överliggande och angränsande nät samt myndighetsavgifter. För dessa kostnader får elnätsföretaget full täckning. De löpande påverkbara kostnaderna är drift och underhåll samt kundspecifika kostnader. (Energimarknadsinspektionen, 2012)

### 2.6.2 Lagstiftning som kan försvåra införande av energitjänster

I ellagen som samlar alla grundläggande bestämmelser kring elverksamhet finns några lagar som skulle kunna försvåra för elnätsföretag att införa energitjänster liknande den V2H-energitjänst som behandlas i denna rapport. Dessa listas med en kort förklaring under detta kapitel

#### **Nättariffer ska vara objektiva och icke-diskriminerande**

När kunden ingår en energitjänst kräver kunden en viss form av ersättning. Denna ersättning kan strida mot nuvarande lagstiftning med tanke på följande två paragrafer

”Nättariffer ska vara objektiva och icke-diskriminerande. De ska utformas på ett sätt som är förenligt med ett effektivt utnyttjande av elnätet och en effektiv elproduktion och elanvändning.”

(Ellagen 1997:857 4 kap. 1 §)

samt,

”Nättariffer för överföring av el för område får inte utformas med hänsyn till var inom området en anslutning är belägen. Om ett eller flera områden slås samman helt eller delvis ska en enhetlig nätтарiff för det nya området börja tillämpas senast tre år efter sammanslagningen.”

(Ellagen 1997:857 4 kap. 3 §)

Enligt en rapport av Energimarknadsinspektionen (2015) framgår det i proposition 16 Energieffektiviseringsdirektivet att nätägaren ska uppmanas till att öka möjligheterna för nätkunderna att bidra till en mer effektiv nätdrift genom t ex efterfrågefleksibilitet eller energitjänster. På Energimarknadsinspektionens hemsida kan man dock finna följande text;

”Att avgifterna ska vara icke-diskriminerande innebär att ett företag inte får gynna en kund inom en kundkategori framför någon annan inom samma kundkategori. Likadana kunder ska ha likadana avgifter”

(Energimarknadsinspektionen, 2016)

Detta kan tyckas motsägelsefullt och tyder på att med dagens lagstiftning måste nätägaren ge kunderna incitament på andra vägar än med sänkta nätavgifter.

#### **Elnätsföretagets hantering av energilager**

Ett annat område som kan bli problematiskt är hanteringen av kundens elbilsbatteri som ses som ett energilager. Det finns i nuläget inga tydliga regler för hur elnätsföretag får hantera energilager. Följande är hämtat från ellagen;

”Till nätverksamhet hör också projektering, byggande och underhåll av anläggningar, mätningar och beräkning av överförd effekt och energi samt annan verksamhet som behövs för att överföra el på det elektriska nätet.”

(Ellagen 1997:857 .1 kap. 4 §)

Annan verksamhet skulle kunna omfatta elnätsägarens hantering av energilagring. Elnätsföretag får dock inte bedriva handel med el annat än för att täcka nätförluster enligt:

”En juridisk person som bedriver nätverksamhet får inte bedriva produktion av eller handel med el. Ett stamnätsföretag får inte heller bedriva produktion av eller handel med naturgas. Utan hinder av första stycket får produktion av el bedrivas tillsammans med nätverksamhet av samma juridiska person, om produktionen;

1. uteslutande är avsedd att täcka nätförluster, eller
2. sker tillfälligt i syfte att ersätta utebliven el vid elavbrott”

(Ellagen 1997:857 3 kap. 1 §).

Detta betyder att el till energilagret inte skulle få köpas i annat än i undantag enligt de två sista punkterna ovan. I ett scenario där kunden står kvar som ägare till energilagret kan elnätsföretaget ta sig runt den ovanstående problematiken genom att betala kunden för denna ”nättjänst” som denne kan erbjuda elnätsföretaget. Ytterligare ett alternativ skulle vara att en tredje part står som ägare av energilagren under tjänsteperioden, men då krävs inblandning av fler aktörer. (Hansson, et al., 2014)

## 2.7 Verktyg för affärsmodell och analys

För att lyckas gå från affärsidé till färdig produkt eller tjänst är det fördelaktigt att skapa en affärsmodell. En affärsmodell definieras som ett hjälpmedel som beskriver hur ett företag skapar, levererar och fångar värde. För denna studie har ett verktyg använts för att skapa och analysera en affärsmodell och för att åskådliggöra och förtydliga affärsidén. Ett annat verktyg har sedan använts för analys av den tänkta energitjänsten. De verktyg som använts är Business Model Canvas (BMC) för skapandet av affärsmodellen och SWOT-analys för utvärdering av energitjänsten.

### 2.7.1 Business Model Canvas (BMC)

Business Model Canvas (BMC) är ett verktyg som på ett enkelt och överskådligt sätt tydliggör affärsmodellens viktiga delar. Detta verktyg skapades av Osterwalder och Pigneur och är anpassat för att kunna användas för skapandet av alla typer av affärsmodeller. Det huvudsakliga syftet med BMC som verktyg är att underlätta kommunikering kring affärsmodellen på ett standardiserat sätt. (Coes, 2014) Strukturen för en BMC utgår från nio olika block som ger insikt i vad affärsmodellen bör innehålla. En översikt över de nio blocken och vilka nyckelfrågor som bör besvaras under varje block visas nedan (Osterwalder & Pigneur, 2010)

### **Blockbeskrivning BMC**

#### **1. Kundsegment**

Kundsegmentet är den kundkrets som man tror kommer attraheras av produkten/tjänsten. Kundsegmentet kan bestå av en eller flera grupper som är uppdelade efter liknande egenskaper. Det är en rekommendation att affärsmodellen inte riktar sig till ett allt för stort antal kundgrupper med skilda egenskaper, då det skapar svårigheter att designa affärsmodellen kring kundbehovet.

Nyckelfrågor: För vem skapar varan/tjänsten ett värde? Vilka är de viktigaste kunderna?

#### **2. Värdeerbjudande**

Värdeerbjudandet är det som uppfyller kundsegmentets behov eller löser dess problem. Ett väl formulerat och genomtänkt värdeerbjudande är det som gör att kunderna väljer det ena företagets produkt/tjänst framför ett annat. Värdeerbjudandet kan antingen vara kvantitativt med en mätbar värdering i ett pris, snabb service etc. eller kvalitativt med parametrar så som design eller förhöjd kundupplevelse. Olika sätt att skapa ett värde kan till exempel vara att erbjuda kunden en nyhet som aldrig tidigare erbjudits på marknaden, en förhöjd prestanda, kundanpassning, design eller märkesstatus, lägre pris, kostandsreduceringar, riskreduceringar eller tillgänglighet. En mycket viktig aspekt är även hur värdeerbjudandet paketeras för att på bästa sätt uppfylla kundens, företagets och övriga samarbetspartners önskemål.

Nyckelfrågor: Vilken produkt/tjänst erbjuds till kunderna? Vilket problem löser varan/tjänsten? Vilka av kundens behov uppfylls? Vilket värde skapas för kunden? Hur paketeras varan/tjänsten?

#### **3. Distributionskanaler**

Genom distributionskanaler ska värdeerbjudandet kommuniceras, distribueras och säljas till kundsegmentet. Det är genom dessa kanaler all kundkontakt sker och är därför mycket viktiga för affärsmodellen och spelar en stor roll för kundupplevelsen. Genom kanalerna måste följande uppnås:

1. Kunden blir medveten om värdeerbjudandet
2. Kunden kan utvärdera erbjudandet
3. Kunden kan tillgodogöra sig värdeerbjudandet
4. Kunden kan få värdeerbjudandet levererat
5. Kunden kan i efterhand få support vid behov

Kanalerna som uppfyller ovanstående punkter kan både vara företagets egna eller externa kanaler alternativt en mix av dessa.

Nyckelfrågor: Hur vet den potentiella kunden att varan/tjänsten existerar? Vilka är distributions- och försäljningskanalerna?

### **4. Kundrelationer**

Relationen till kundsegmentet behöver vara definierad och kan vara antingen personlig eller helt automatiserad eller ett mellanting. Relationen kan syfta till att antingen skaffa nya kunder, bevara befintliga kunder eller öka lönsamheten från kunderna. Kundrelationer kan uppkomma i olika former, några exempel är:

- Personlig service
- Dedikerad personlig service
- Diskussionsforum
- Samarbetsrelation för utformning av värdeerbjudandet

Nyckelfrågor: Vilket förhållande till kunden behöver etableras? Blir det en engångs-kontakt eller ett långsiktigt förhållande?

### **5. Intäkter**

Intäktsströmmarna är de betalningsströmmar som inkommer till företaget från kundsegmentet. Att sätta rätt värde på betalningen från kundsegmentet är en mycket viktig del av affärsmodellen för att få ett attraktivt värdeerbjudande. Intäkten kan antingen komma som en engångssumma eller som en återkommande inbetalning eller som en kombination av dessa. Intäktsströmmarna kan vara beroende av olika prismekanismer som grovt uppdelade kan skiljas i fast pris och dynamiskt pris. Vid ett fast pris betalar kunden en statisk summa som kan variera med volym, kvalitet etc. Vid ett dynamiskt pris ändrar sig priset beroende på marknadsförhållandena.

Nyckelfrågor: Vad är kunden villig att betala för produkten/tjänsten? Av vilken typ är intäktsströmmen? Vilken prismekanism styr intäktsströmmen?

### **6. Nyckelresurser**

Nyckelresurserna beskriver de viktigaste tillgångarna för affärsmodellen. Nyckelresurserna kan vara fysiska, finansiella, mänskliga eller intellektuella. Nyckelresurserna kan tillägnas från samarbetspartners eller ägas/leasas av företaget.

Nyckelfrågor: Vilka resurser behövs för att skapa produkten/tjänsten? Hur bidrar de till värdeerbjudandet?

### **7. Nyckelaktiviteter**

För en framgångsrik affärsmodell är vissa aktiviteter kritiska för att skapa värdeerbjudandet. Precis som för nyckelresurserna varierar aktiviteterna beroende på vilken typ av affärsmodell företaget skapar. Exempel på kategorier av nyckelaktiviteter är produktion, problemlösning och plattformsskapande- och underhåll.

Nyckelfrågor: Vilka aktiviteter krävs för att skapa värdeerbjudandet?

### **8. Nyckelpartners**

Nyckelpartners beskriver det nätverk av leverantörer och partners som är nödvändiga för en fungerande affärsmodell. Fyra olika typer av partnerskap kan definieras



1. Strategiska sammanslutningar mellan icke-konkurrenter
2. Strategiskt partnerskap mellan konkurrenter
3. Samriskföretag för att skapa nya affärsmodeller
4. Relation mellan beställare och leverantör för att säkerställa tillförlitliga leveranser

Nyckelfrågor: Vilka leverantörer och samarbetspartners behövs för att affärsmodellen ska fungera? Vilken roll har de i processen?

### **9. Kostnader**

Kostnadsblocket beskriver de viktigaste kostnaderna som uppstår i de övriga blocken. Även om låga kostnader är fördelaktigt för de flesta affärsmodeller är det viktigare för vissa än för andra. Vissa affärsmodeller är mer kostnadsdrivna och har ett koncept som är helt uppbyggt kring att optimera sin kostnadsstruktur medan andra fokuserar mer på att skapa värde och kostnadsoptimering är sekundärt till värdeskapandet. De flesta företags affärsmodeller befinner sig någonstans mellan dessa två extremer. Kostnaderna kan, precis som intäkterna, vara av olika karaktär. De kan till exempel vara fasta kostnader så som exempelvis hyror och löner eller rörliga som exempelvis kostnader för produkter eller service där kostnaden varierar med volym. Kostnadsblocket kan även vara påverkat av ekonomisk skalbarhet som företaget kan utnyttja när efterfrågan på dess värdeerbjudande ökar. I vissa företag kan även kostnadsblocket dra nytta av ekonomiska omfångsfördelar där exempelvis företags distributionskanaler kan användas till flera olika produkter och tjänster.

Nyckelfrågor: Vilka kostnader uppstår vid skapandet av värdeerbjudandet? Hur stora är de? Vilka resurser och aktiviteter bär de största kostnaderna? Är produkten/tjänsten värde driven-och/eller kostnadsdriven? Av vilken karaktär är kostnaderna? Kan ekonomisk skalbarhet eller omfångsfördelar utnyttjas?

### **Fördelar och nackdelar med BMC**

BMC-verktyget har som alla verktyg både styrkor och svagheter. Dess styrka är enligt Cole (2014) dess visuella representation samt enkelheten i modellen som gör den okomplicerad att både designa och kommunicera till anställda, partners och kunder.

BMC modellens största svaghet är att den inte tar hänsyn till externa faktorer som kan påverka affärsmodellen så som t. ex konkurrens.

### **2.7.2 SWOT-analys**

I en SWOT-analys analyseras styrkor, svagheter, möjlighet och hot för en tjänst, affärsmodell eller teknikkoncept. Namnet SWOT kommer av just dessa delar man analyserar - Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats. Med hjälp av en SWOT-analys får man en helhetsbild över utgångsläget och en tydlig bild över vilka punkter som är slagkraftiga och som kan användas för att ytterligare spetsa en eventuell affärsmodell och de punkter som behöver förbättras eller uppmärksammas för att inte komma som ett överraskande bakslag i framtiden. Under rubrikerna styrkor och svagheter samlas det som direkt kan påverkas internt inom företaget. Rubrikerna

möjligheter och hot samlar de delar som är beroende av händelser i framtiden och i omvärlden som är svåra att direkt påverka, men som ändå är mycket viktiga att analysera. (Almi, u.d.)

Följande frågor kan användas för att besvaras under rubrikerna: (Lepers, 2014)

**Styrkor:** Vilka egenskaper gör tjänsten bättre än andra? Hur skiljer sig värdeerbjudandet från konkurrenternas/andra användningsområden? Vilka är de starka punkterna?

**Svagheter:** Vilka egenskaper för tjänsten försvagar den jämfört med andra liknande tjänster? Vilka är de största nackdelarna?

**Möjligheter:** Vad i omgivningen kan affärsmodellen för tjänsten utnyttja till sin fördel? Vilka framtida trender och förhållanden i omvärlden kan ha positiv inverkan?

**Hot:** Vad i omgivningen kan bli en nackdel för tjänsten? Vilka framtida trender och förhållanden i omvärlden kan ha negativ påverkan?

### **Fördelar och nackdelar med SWOT-analys**

SWOT-modellens fördelar är att den är lätt att utföra och förstå samt att den lägger stor vikt vid grundläggande aspekter som är viktiga för en lyckad affärsmodell. Den är även allmänt känd och välanvänd som analysverktyg. Dess nackdelar är att styrkor och svagheter inte graderas och det är därför svårt att bedöma deras betydelse. Metodens enkelhet kan även ses som en nackdel då den ibland använts utan att tillräckligt ha utvärderat alla delar och inte gjort tillräcklig skillnad mellan interna styrkor och externa möjligheter respektive interna svagheter och externa hot. (Nylund, 2006)

## 3. Nätanalys

*I detta avsnitt presenteras projektets simuleringsdel där V2H-konceptet potential synliggörs och undersöks ur olika nättekniska perspektiv. I kapitlets inledande del ges en utförlig beskrivning av området som studien utgår ifrån. Där beskrivs också den nätstation som valts ut för studien i närmare detalj. Denna del följs sedan av en metodbeskrivning för simuleringarna. Där ges en djupare beskrivning av de verktyg som används, hur simuleringarna är utförda samt en avslutande resultatdel. Det resultat som presenteras kommer sedan utgöra underlag för rapportens nästkommande del då en affärsmodell byggs upp för konceptet.*

### 3.1 Fallstudie

#### 3.1.1 Områdesbeskrivning

Den valda platsen för studien är ett nätstationsområde i Danderyds kommun som hör till Stockholms tätort. Kommunen är uppdelad i fyra områden, Stocksund i Söder, Djursholm i nordost, Enebyberg i nordväst samt Danderyd i väster. Tvärs igenom området går E18 samt Roslagsbanan som erbjuder transportförbindelser med Stockholms centrum. Kommunen består av ca 28 kvadratkilometer mark och är på så vis Sveriges femte minsta kommun där drygt 32 000 invånare bor. Något som karakteriserar området är dess villakvarter som blivit populära på grund av sitt geografiska läge som erbjuder närhet till stadskärnan men samtidigt större naturområden. I dagsläget är hushållen i kommunen jämt fördelade mellan småhus och flerfamiljshus (Danderyds kommun, 2016).

År 2013 antog länsstyrelsen i Stockholms län en klimat- och energistrategi som även innefattar Danderyds kommun. I denna strategi fastslås målsättningar om att öka användningen av förnybara energikällor samt en mer klimatsmart energianvändning i bebyggelsen enligt det nationella programmet för energieffektivisering och energismart byggande (Prop.2005/06:145). Bland annat framhåller detta dokument en målsättning om att minska den totala energianvändningen per uppvärmd areaenhet i bostäder och lokaler med 20 procent till år 2020 och 50 procent till år 2050 jämfört med nivån år 1995 (Lökvist Andersen & Nyberg, 2013). Även om klimatstrategin täcker ett större geografiskt område än enbart Danderyd har den redan tagit uttryck i området som i dagsläget köper all el till sina verksamheter antingen från sol- eller vindkraft (Danderyds kommun, 2016). I år har även ett nytt förslag till en lokal energi- och klimatstrategi tagits fram för kommunen där ytterligare krafttag för en övergång till biobränslen, sol-, vind- och vågkraft föreslås (Meyer, 2016).

Kommunen verkar också för att underlätta för dess invånare att övergå till elfordon genom att i kommunal regi installera laddstationer runt om i området. Dessutom bereder kommunen mark för att även externa aktörer ska få en lättare väg in att installera nödvändig infrastruktur för eldrift på markområden som kommunen råder över. (Meyer, 2016)

Allt detta sammantaget vittnar om lokala drivkrafter för implementering av klimatsmarta tekniska lösningar. Detta tillsammans med strävan mot en allt högre grad förnybara kraftslag och eldrivna transportalternativ gör att området framstår som mottagligt för teknik lik V2H.

#### 3.1.2 Kundbeskrivning

I denna studie undersöks en nätstation i ett område med 120 anslutna E.ON-kunder. Genom att ta del av lastdata från E.ONs dokumentationssystem konstateras att en majoritet av dessa kunder har eluppvärmda bostäder vilket bidrar till den höga elförbrukningen som karakteriserar nätstationen. Detta är en tydlig trend för alla småhushåll i kommunen. Från genomförda analyser år 2015 konstateras att el är den vanligaste energibäraren för uppvärmning och uppgår till 168 GWh. Resterande del är fördelade mellan fasta bränslen så som ved och pellets samt flytande bränslen likt diesel eller eldningsolja. Andelen fjärrvärmeanslutna kunder är i det närmsta obefintlig på grund av att nätet ej är väl utbyggt i kommunen. Det befintliga nätet sträcker sig enbart utmed en motorväg, E18, och har inga vidare förgreningar ut i området. Efterfrågan på nya ledningar har heller inte varit stor då alternativa uppvärmningsätt ter sig mer attraktiva för kunden. (Meyer, 2016)

Husägarna i området antas vara representativa för den kommunala statistik som tagits fram för levnadsvanor där bland annat den genomsnittliga Danderydsbons körmönster analyserats. Det har visat sig att invånarna i kommunen kör 8 procent längre än rikssnittet och 25 procent längre än Stockholms stads genomsnitt. Samma undersökning har också visat att körsträckan har ökat över tid och dagens Danderydsbo kör 15 procent längre år 2015 än motsvarande år 1999. Körsträckan i mil per invånare låg år 2015 på 700 mil. I detta värde är även körda mil utanför kommunen, länet och landet inkluderat. Av hushållen har 91 procent tillgång till bil, också detta högre än rikssnittet som i dagsläget är 84 procent. Det visar sig också att hushållen är mer benägna att använda bilen för korta sträckor (mindre än fem kilometer) än vad som är vanligt i resterande landet. Detta indikerar att Danderydsbon sammantaget använder bilen i större utsträckning än vad som är vanligt på nationell nivå. (Meyer, 2016)

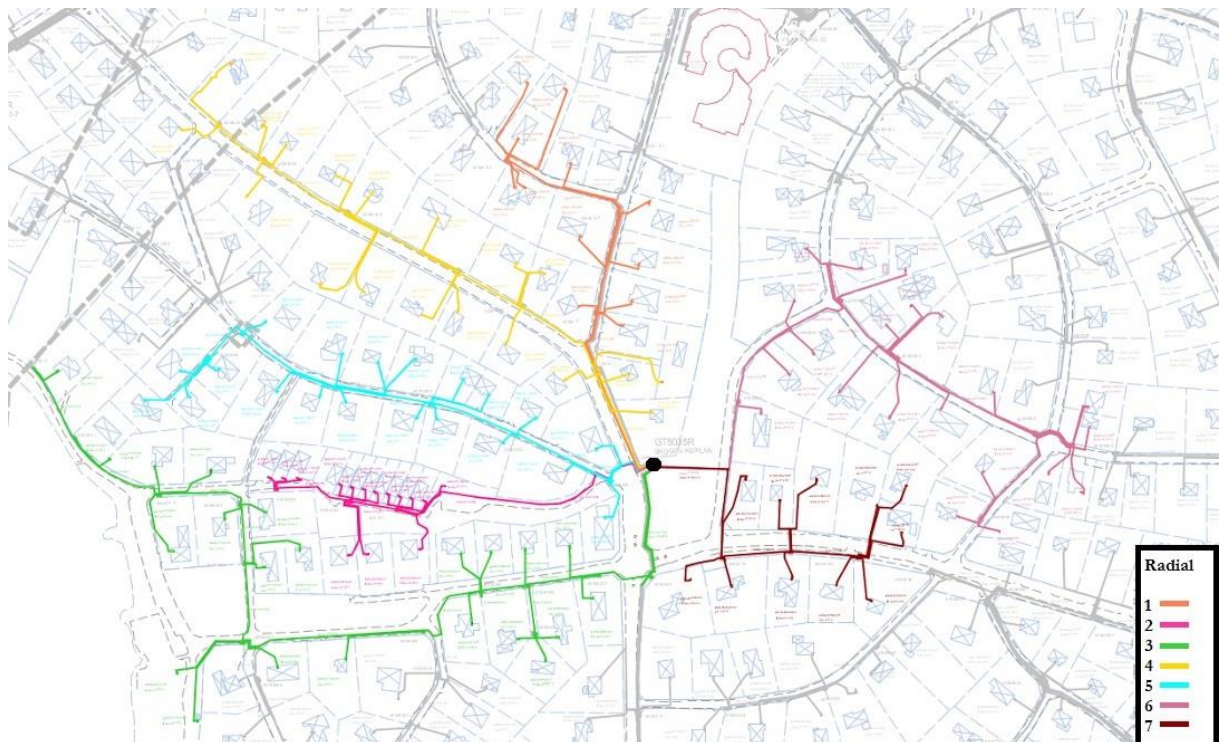
När det kommer till val av bil och bränsle utmärker sig kommunen ytterligare. Det har skett en fördubbling av antalet miljöbilar i området under perioden 2009-2014 som gått från 7,5 procent till 17 procent. Till dessa hör fordon som är klassade både enligt år 2007 och år 2013 års miljöbilsdefinition. År 2014 genomfördes en inventering av alla registrerade personbilar i kommunen som uppgick till 16 910 stycken. Av dessa var 36 stycken elbilar, då även inkluderat laddhybrider, vilket motsvarar 0,2 procent av alla bilar (Meyer, 2016). I slutet av samma år var antalet elbilar i hela landet 8000 vilket motsvarar 0,17 procent (Elbilsstatistik, 2016) (SCB, 2016). Det går därför att utläsa att Danderyd även på detta transportområde är en föregångskommun jämfört med genomsnittet i landet.

#### 3.1.3 Nätstationsbeskrivning

Den studerade nätstationen är en del av Danderyds lokalnät som innehåller 177 nätstationer och 13 236 kunder. Den nättekniska karakteristik som är aktuell för den valda nätstationen i Danderyd sammanfattas nedan

- Noder i nätet: 168
- Hushållskunder: 120
- Transformatorstorlek: 800 kVA
- Radialer: 7
- Sammanlagd ledningslängd: ~ 7620 m
- Tvärsnittsarea ledningar:
  - Servis-ledningar: 10-35 mm<sup>2</sup>
  - Ledningar till och från kabelskåp/nätstation: 70-240 mm<sup>2</sup>

I figur 3.1 visas en översiktsvy över nätstationen och de anslutna hushållen.



**Figur 3.1** Översiktsbild över nätstationsområde. I figurens center är nätstationen utmarkerad (svart prick) utifrån vilken de sju radialera sträcker sig.

## 3.2 Nätsimulering

### 3.2.1 Simuleringsverktyg

För att synliggöra V2H-styning av elbilar på det aktuella lokalnätet har simuleringsverktyget PSS/E (Power system simulator for engineering) använts. Programmet är skapat för elektriska transmissions- och distributionssystem och används framförallt för att simulera, analysera och optimera kraftsystem. Med hjälp av mjukvaran kan prognoser över nättekniska detaljer samt dynamiska modeller över näten tas fram vilket underlättar både då nya nät ska byggas samt underhåll av den befintliga infrastrukturen. Programmet är framtaget av det amerikanska företaget PTI som numera går under Siemens verksamhet och är idag det mest använda i branschen. För att beräkna effektlöden använder sig programmet bland annat av den numeriska beräkningsmetoden Newton-Raphsons metod. (Dong, et al., 2012)

I detta projekt används PSS/E genom att en modell av den befintliga nätstationen skapas i programmet. Här synliggörs nätteknisk data så som laster, impedanser, aktiv och reaktiv effekt för nätets komponenter. Till dessa hör transformatorn, samtliga kabelledningar, alla ingående hushåll och övriga anslutningspunkter.

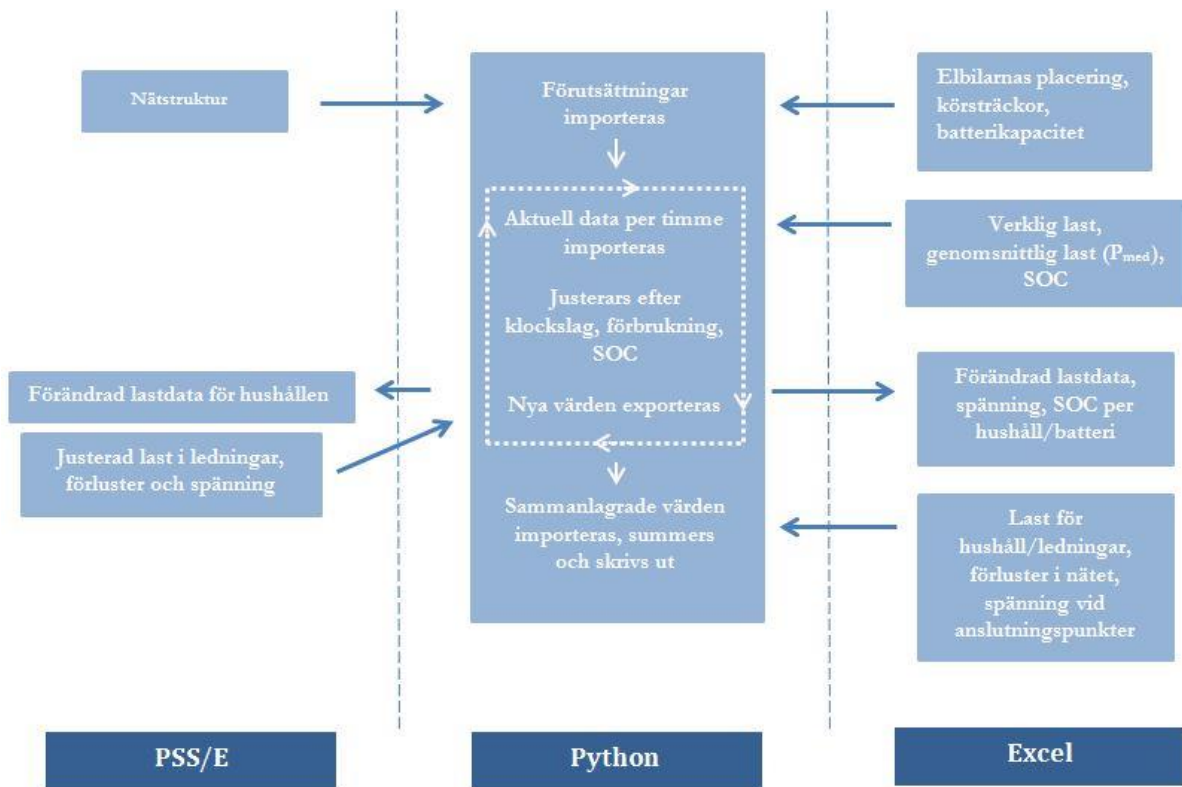
För att kommunicera med modellen i PSS/E och simulera de tänkta elbilsfallen används programmeringsverktyget Python. Det är uteslutande i denna mjukvara som styrningen och regleringen av elförbrukningen och bilbatterierna sker.

### 3.2.2 Simuleringsmetodik och indata

Genom att använda PSS/E och Python har simuleringar av V2H-teknik genomförts för villakvarteret tillhörande den aktuella nätstationen i Danderyd. Som underlag för detta har platsspecifik nätinformation tillhandahållits från E.ON Elnät. Utöver denna information baseras simuleringarna på uppmätt elförbrukning i form av timvärden för varje hushåll under vecka 5 år 2012, även detta tillhandahållet från E.ON Elnät. I studien antas att de elbilar som används ha en energiförbrukning på 2 kWh/mil.

#### **Simuleringsuppbyggnad**

Den data som är aktuell för området och tidperioden importeras/exporteras till Python via PSS/E och Excel i vilka alla värden dokumenteras. I figur 3.2 visas en schematisk beskrivning över kopplingen mellan programmen



Figur 3.2 Schema över de verktyg som används för nätsimulering och hur de kommunicerar

Följande steg beskrivs i figuren;

1. Data över nätets struktur, det vill säga transformatorns karakteristik, radialernas uppbyggnad och hushållens placering, importerar från PSS/E. På samma sätt hämtas elbilarnas placering, tänkta körsträckor och batteriernas kapacitet från Excelfiler.
2. Från Excel importerar hushållens befintliga och genomsnittliga förbrukningsdata per timme och bilbatteriets rådande SOC (State Of Charge). Dessa justeras därefter enligt den algoritm (se figur 3.3) som beskrivs närmare i nästa avsnitt, för att slutligen exporteras tillbaka till Excel. Detta sker genom att systematiskt iterera varje timme för den tänkta perioden och gå igenom varje hushåll var för sig. När alla hushåll har justerats för en timme exporteras värdena till PSS/E. De förändringar som nätet då upplever importerar sedan tillbaka till Python för att sparas i Excelfiler.
3. När alla timmar under tidsperioden justerats enligt föregående steg importerar resultatet från Excelfilerna till Python. I ett avslutande steg summeras den sammanlagrade lasten över nätstationen och den nya nätkaraktistiken skrivs ut i de grafer som återfinns i detta kapitlets avslutande del.

Elbilsbatterierna som placerats ut i simuleringarna representeras av ett förändrat lastvärde för de aktuella hushållen. När bilen laddar batteriet eller försörjer hushållet med el kommer det registreras i PSS/E i form av antingen en positiv eller negativ last som läggs till på hushållets anslutningspunkt.

Varje enskilt simuleringsscenario som undersöks i denna rapport utgår från detta upplägg.

### Reglering av elbilens batteri

Metodiken som använts genomgående för styrningen i simuleringarna utgår från en uppdelning av hushållen i fyra olika kundgrupper. Dessa grupper har alla tilldelats olika körvanor och fördelats mellan elbilar och fossildrivna alternativ. Gruppkaraktistiken bygger på den aktuella statistiken för området som presenterats i föregående avsnitt 3.1.2 Kundbeskrivning samt de framtidsprognoser som beskrivs i den teoretiska bakgrunden under delkapitel 2.2 Elbilsutveckling och tekniska förutsättningar. Hur dessa faktorer tillsammans med andra simuleringsparametrar har uppskattats presenteras i avsnittet 3.2.4 Avgränsningar och antagande. De fyra kundgrupper som formulerats för studien finns presenterade i tabell 3.1. Nätkunderna är jämnt fördelade över de olika grupperna, men antalet kunder med elbil (grupp 1-3) varierar i de olika scenarierna då olika elbilsvolymers undersöks.

**Tabell 3.1 Kundgrupper för simulering**

Kundgrupp	Körsträcka (mil/dygn)	Fordonstyp
1	1,0	Elbil
2	3,2	Elbil
3	6,3	Elbil
4	-	Ej elbil

I de utförda simuleringarna styrs bilbatteriets upp- och urladdningsmönster av tre parameterar; tid på dygnet, batteriets laddningsgrad (SOC) samt hushållets aktuella timförbrukning. I ett första steg undersöks om bilen är hemma och på så vis är ansluten till hushållet. I de perioder bilen är parkerad vid hemmet jämförs batteriets rådande laddningsgrad mot de kritiska laddningsnivåerna som finns presenterade i tabell 3.2.  $SOC_1$  representeras här av batteriets lägsta tillåtna laddningsnivå. Denna är bestämd för att undvika uttag från bilen som skulle medföra för stort slitage på batteriets livslängd samtidigt som nivån garanterar att kunden kan köra en önskad sträcka vid nästkommande körtillfälle.  $SOC_2$  och  $SOC_3$  utgör ett dödband inom vilket batteriet varken kan laddas upp eller ur, även detta för att minska slitage och förkortad livslängd. Undantag från detta kan förekomma beroende på hushållets dåvarande last. Vilket spann bandet omfattar kan anpassas för att optimera styrningen för varje enskilt fall. I denna studie har dock dessa gränser bestäms genom att anpassas för samtliga hushåll samtidigt.  $SOC_4$  är den högsta tillåtna nivå som batteriet laddning får nå, och denna har satts till 80 procent. Batteriets högsta/lägsta accepterade laddningsnivå finns vidare förklarade i den teoretiska bakgrunden under delkapitel 2.2 Elbilsutveckling och tekniska förutsättningar.

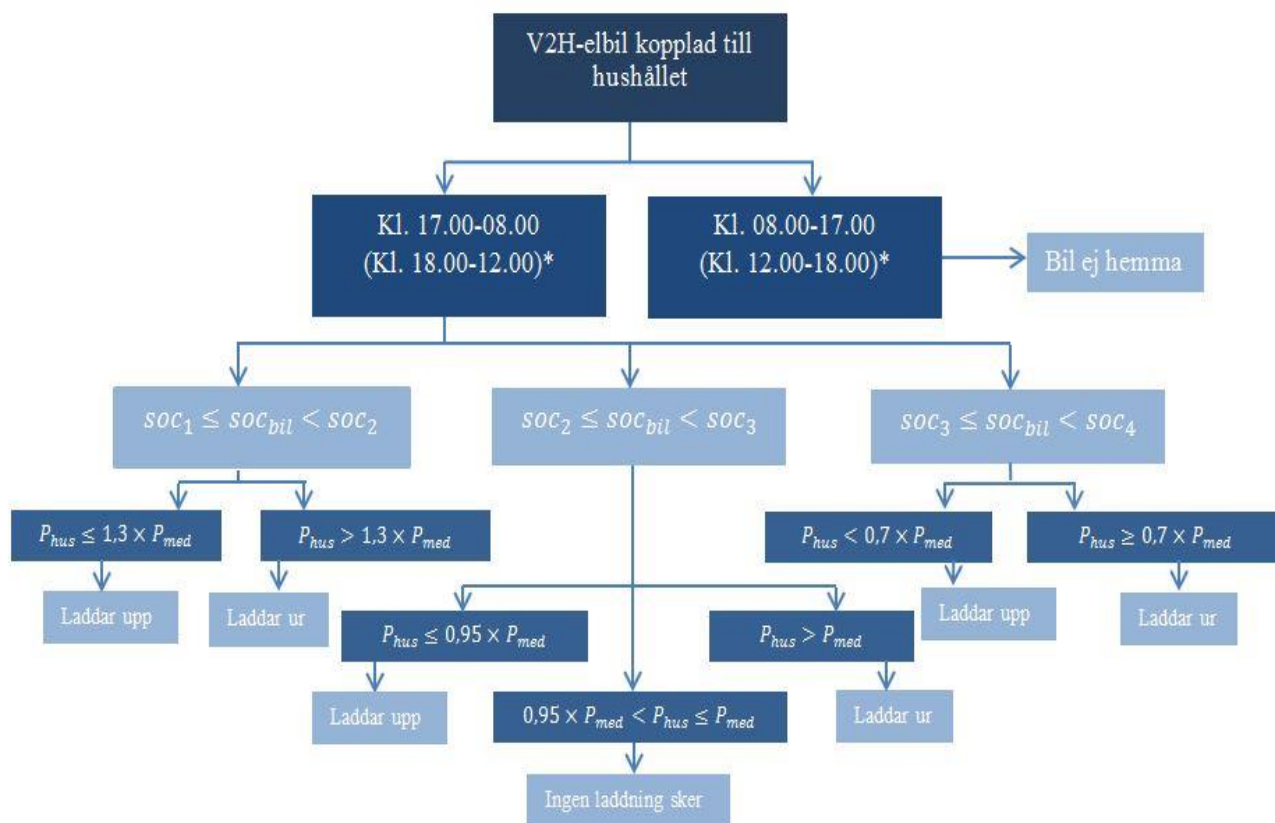
**Tabell 3.2 SOC-gränser i simulering**

SOC	SOC (%)	Energivå (kWh)
$SOC_1$	32,5	19,5
$SOC_2$	40,0	24
$SOC_3$	60,0	36
$SOC_4$	80,0	48



Det avslutande steget som genomförs för att avgöra hur batteriet ska användas för ett visst hushåll och tidpunkt är att kundens aktuella timförbrukning jämförs med ett genomsnittligt värde för samma parameter. Detta har tagits fram genom att undersöka kundens timförbrukning för respektive dag och på så vis uppskatta ett timgenomsnitt. Värdet som den aktuella förbrukningen jämförs med kommer alltså att vara konstant över varje dygn men variera över samtliga veckodagar. Detta görs för att uppskatta vilken förbrukningsnivå i effekt varje kund ligger på eftersom den är varierande för de olika hushållen i området.

I figur 3.3 visas en schematisk bild över den algoritm som är framtagen för styrningen av bilarnas batterier. Algoritmen är skapad för just denna simulering med grund i de viktiga aspekter som framgått genom andra studier, vilka har presenterats i den teoretiska bakgrunden. Genom att följa bilden steg för steg kan läsaren avgöra i vilka scenarion den aktuella bilen kommer användas för att försörja hushållet eller laddas upp. Batteriets upp och urladdningseffekt är fastställd till 3,7 kW då detta är ett typisk värde för laddning vid ett hushåll som har en säkring på 16 A.



Figur 3.3 Flödesdiagram över styrningen. (\*) Avser helgscenarion.

I figuren tydliggörs hur styrningen utgår från de tre parametrarna, tid på dygnet, SOC samt hushållens aktuella effektförbrukning som beskrivits ovan. Det första steget visar de timmar som bilen antingen är närvarande eller används för transportändamål. I steg två då SOC-nivåerna jämförs representerar  $SOC_{bil}$  batteriets dåvarande laddningsnivå och  $SOC_{1-4}$  de givna värdena som presenterats i tabell 3.2. I det sista avgörande steget då hushållets effektnivå betraktas representerar  $P_{hus}$  hushållets aktuella last exkluderat elbilen och  $P_{med}$  hushållets genomsnittliga

timförbrukning det aktuella dygnet. Att den sistnämnda parametererna multipliceras med en faktor 1,3; 0,95; 1 eller 0,7 beror på att behovet för huruvida batteriet ska användas för att ladda bilen eller försörja hushållet varierar vid olika SOC och  $P_{\text{hus}}$ -nivåer. Till exempel ska batteriet i större utsträckning prioritera att försörja hushållet om SOC-nivån är hög. På motsatt sätt ska bilens behov prioriteras vid en låg SOC och bara stödja hushållet om den dåvarande lasten övergår den genomsnittliga lasten med en faktor 1,3. Dessa faktorer har testats fram genom upprepade simuleringar.

I nästkommande avsnitt ges en närmare beskrivning över de olika scenarion som detta projekt behandlar vilka alla simulerats och reglerats enligt denna metodik.

#### 3.2.3 Simuleringsscenarion

För att få en tydlig bild av potentialen i V2H-styrningen behövs ett antal scenarier undersökas. Dessa skiljer sig från varandra genom variationer i några utvalda nyckelfaktorer. Bland annat undersöks skillnader i antal elfordon, laddningsmönster, styrningsteknik och laddningseffekt. I ett första skede simuleras fyra grundfall där elbilarna ej har en styrd laddning. Detta för att använda som referens då smart-laddning genom V2H används. De olika elbilsvolymer som undersöks bygger på den stora variation i framtidsprognoser som beskrevs i delkapitel 2.2 Elbilsutveckling och tekniska förutsättningar. Nedan följer en mer detaljerad beskrivning av varje simuleringsscenario.

##### ***Grundscenario 1: Bostadsområde utan elbilar***

I detta scenario simuleras nätstationen enbart med hjälp av befintlig nätdata över kundernas elanvändning. Inga elbilar adderas till hushållens elförbrukning.

Syfte: Att få en utgångspunkt för nätets befintliga status utan elbilar.

##### ***Grundscenario 2: Bostadsområde med elbilar utan V2H-styrning***

I det andra grundscenariot undersöks området med tillägget att elbilar finns med bland hushållens laster. V2H-styrning har inte applicerats än, utan detta scenario visar hur det lokala elnätet skulle påverkas om bilarna laddades direkt när de kommer hem till den tidpunkt då de är fulladdade. Detta utan att ta hänsyn till husets övriga förbrukning. Simuleringarna kommer att utgå från elbilsvolymer; 20, 40 och 80 procent.

Syfte: Synliggöra eventuell problematik med en allt större eldriven fordonsflotta som saknar både styrning och tvåvägskommunikation med elnätet.

##### ***Grundscenario 3: Bostadsområde med elbilar styrda för nattladdning***

I detta fall undersöks hur samma område skulle förändras om elbilarna istället konsekvent laddas under natten. Detta i ett försök att flytta lasten från de två största topparna som förekommer på kvällen samt morgonen då hushållen har en större elförbrukning. V2H-styrning har inte implementeras utan bilarnas laddningsmönster följer det som visats i föregående scenario med skillnaden att laddning påbörjas klockan 24.00. Detta genomförs endast för den största bilvolymen 80 procent.

Syfte: Jämföra styrningsåtgärden lastförflyttning till natten med V2H-teknik

#### ***Grundscenario 4: Bostadsområde med snabbaddade elbilar och färre laddningstillfällen***

I det avslutande grundscenariot undersöks hur lasten på nätstationen skulle förändras om bilarna istället laddades med en högre laddningseffekt på 6,6 kW. Detta behov skulle kunna uppstå vid längre körsträckor än vad som är angivet i denna rapport. Av denna anledning fördubblas de önskade körsträckorna i detta scenario och laddning av bilar sker istället varannan dag. Ingen V2H-styrning används och detta fall behandlar enbart bilvolymen 40 procent för att undersöka om denna elbilsvolym kan komma upp i samma belastningar som 80 procent vid högre laddningseffekt.

Syfte: Undersöka behovet av styrteknik vid önskemål om högre laddningseffekt.

#### ***V2H-scenario 1-3: Bostadsområde med varierande andel elbilar med V2H-styrning***

I de tre scenarion då V2H-styrning betraktas i studien görs detta genom att undersöka hur olika elbilsvolymer (20, 40 och 80 procent) med V2H-styrning påverkar elnätet. I alla dessa fall är bilarnas upp- och urladdningseffekt satt till 3,7 kW.

Syfte: Tydliggöra effekten av V2H-styrning i ett lokalnät

### 3.2.4 Avgränsningar och antaganden

#### ***Batteriets verkningsgrad***

Elbilsbatteriet antas ha en verkningsgrad på 90 procent för både upp- och urladdning.

#### ***Alla bilar kommer hem och lämnar hemmet samtidigt***

De körmönster som modellen bygger på innebär att samtliga elbilar lämnar och kommer hem till hushållet vid samma klockslag. En mer noggrann simulering skulle kunna innebära att varje bil hade ett individuellt körmönster. Dock utgår dessa simuleringar från ett extremfall för att påvisa det värsta tänkbara scenariot utifrån ett elnätsperspektiv.

#### ***Spänningsnivå vid transformatorn***

Spänningen har satts till 1 per unit (pu) på transformatorns uppsida. Det skulle kanske vara möjligt att höja spänningen i nätområdet totalt sett vilket skulle kunna gynna de fall då spänningsfallet understiger 0.9 pu vid höglast.

#### ***En majoritet av laddningen sker vid hemmet***

Den största delen av laddningen sker vid hemmet. Dock antas att den elbilsgrupp med längst körsträcka varannan dag laddar elbilen vid annan plats. Detta för att göra simuleringen något mer realistisk och för att tillåta energiutbyte utöver nätstationens område.

#### ***Inga hushåll har elbil i sin grundförbrukning***

I simuleringarna antas att den lastdata som tillhandahållits projektet över hushållens förbrukning i dagsläget inte inkluderar några elbilar. Detta för skapa ett grundfall fritt från den belastning som de ger upphov till. Dock kan det finnas enstaka elbilar i området redan idag men deras volym antas vara försumbar.

#### ***Inga hushåll har någon övrig styrning av elförbrukning***

Det antas att hushållen inte har någon övrig styrutrustning än den som elbilsbatteriets utgör vid den tidpunkt som simuleringarna utgår ifrån. Detta kan ses som en relativt grov förenkling då läget år 2030 högst troligt inkluderar sådan teknik. Anledning för detta antagande är att få en rättvis bild av den potential som just denna styrteknik innebär och bör därför jämföras med ett ”nollalternativ”.

#### ***Styrning sker enbart med hänsyn till hushållets förbrukning***

I simuleringarna tas inte nätstationens totala last med som en parameter för styrningen, det är enbart det enskilda hushållets förbrukning som styr elbilsbatteriet.

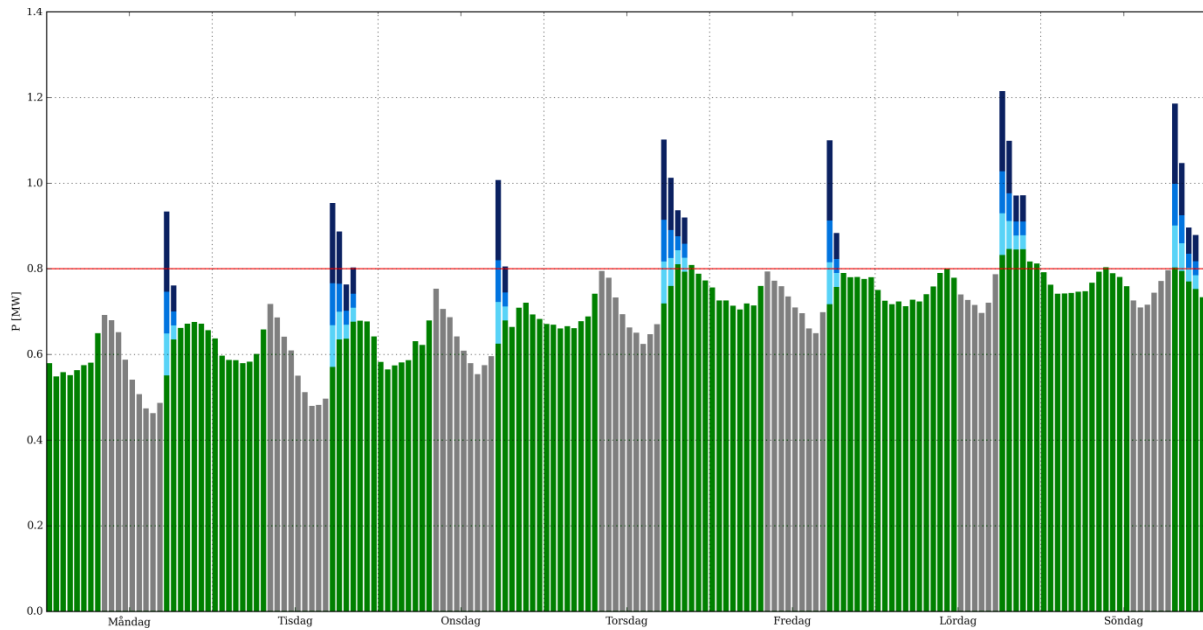
## **3.3 Resultat**

Nedan visas resultatet av de analyserade scenarion som presenterats i förgående avsnitt. Först presenteras diagram över nätstationens lastprofil med en grundförbrukning motsvarande den som elnätskunderna hade vecka 5 år 2012. I samtliga fall antas att en tredjedel av elbilarna (oavsett styrning) laddar bilen på annan plats än hemmet varannan dag. Med i varje figur finns även transformatorns maximala överföringskapacitet 0,8 MVA utmarkerad som en röd linje vilket något förenklat motsvarar 0,8 MW. Skulle denna gräns överskridas genom att den aktuella lasten överskrider detta värde med 20 procent antas det vara skäl nog att förstärka nätet. Detta motsvarar när lasten är cirka 1 MW (0,96 MW).

Utefter dessa lastprofiler väljs sedan ett fall där V2H-tjänsten skulle göra störst nytta. I detta fall undersöks också spänningsfall, effektlöden i ledningarna samt nätförluster. Vidare analys av resultat av simuleringarna redovisas i diskussionen i delkapitel 6.1 Resultat av nätanalys.

### **3.3.1 Grundscenariot 1-2: Bostadsområde utan elbilar & Bostadsområde med elbilar utan V2H-styrning**

I figur 3.4 visas dels den sammanlagrade effektnivån över nätstationen utan att några elbilar lagts till (grön area) samt hur samma grundlast skulle förändras om elbilar utan styrning tillkom. De tre blåfärgade stapelgrupperna representerar olika elbilsvolymerna där 80 procent (mörkblå) ger högst toppar och 20 procent (ljusblå) ger minst ökning av effekttopparna jämfört med grundfallet. De mellersta staplarna representerar en elbilsflotta om 40 procent (mellanblå). De gråa fälten symboliserar då bilarna ej är hemma.

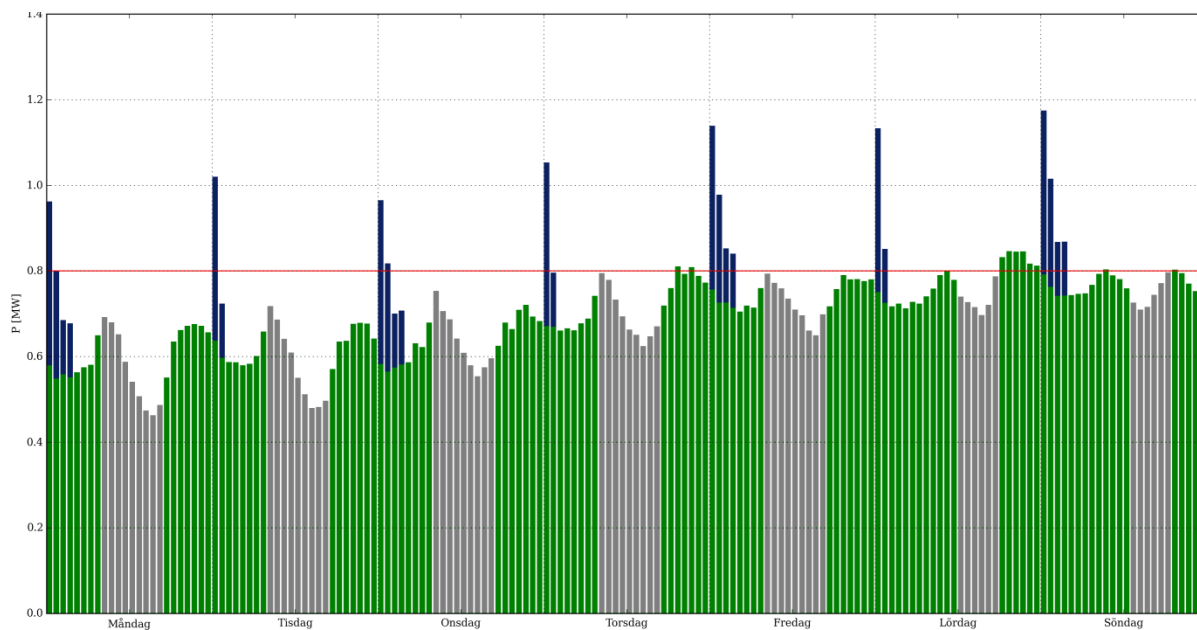


**Figur 3.4** Effektförbrukning över nätstationen utan elbilar (grön) samt med elbilar utan styrning för tre olika volymscenarion 80 % (mörkblå), 40 % (mellanblå) och 20 % (ljusblå). Grå staplar markerar tid då bilarna ej är hemma.

I figuren går det att utläsa att nätstationens grundlast ligger nära eller överskrider transformatorns maximala last vid flera tillfällen under veckan. Det är dock enbart i fallen då 80- eller 40 procent elbilar antas som belastningarna överskrider 1 MW. Speciellt i 80-procent-fallet indikerar simuleringarna ett behov av någon typ av nätförstärkning.

### 3.3.2 Grundscenario 3: Bostadsområde med elbilar styrda för nattladdning

I figur 3.5 nedan visas det tredje grundfallet som undersökts, nämligen hur lastprofilen över nätstationen skulle se ut om elbilsladdningen flyttades till natten. De gröna staplarna representerar likt tidigare diagram grundfallet (nätstationens lastprofil utan elbilar) och det blåa området fallet då 80 procent av personbilarna är elbilar men laddas under natten.

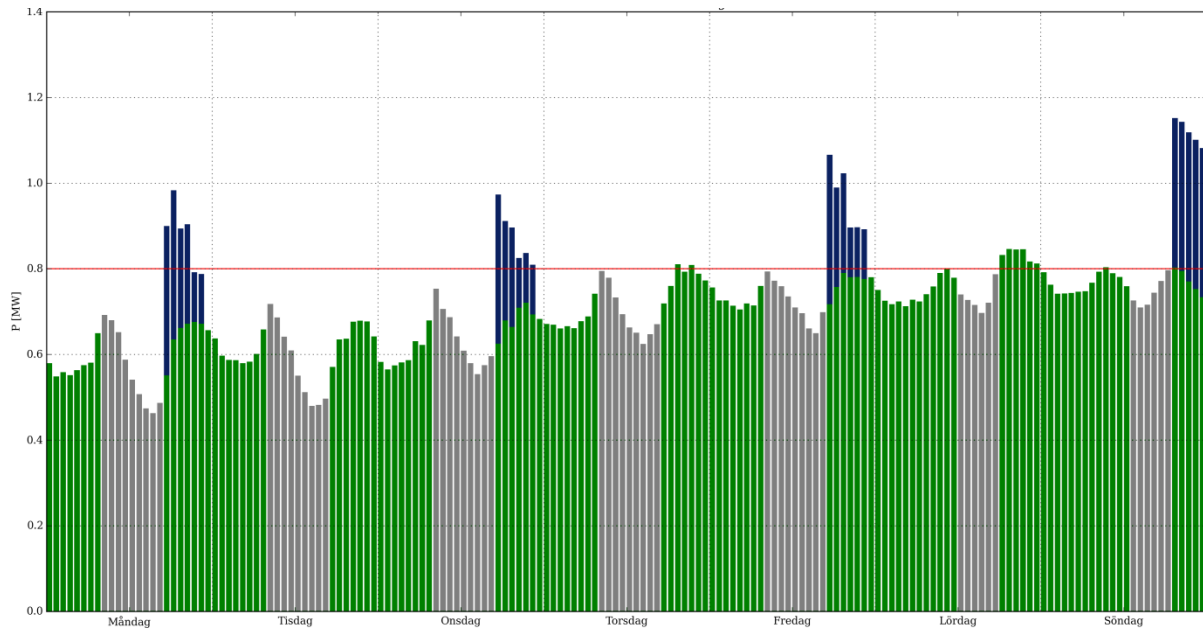


**Figur 3.5** Effektförbrukning över nätstationen då 80 procent elbilar används (mörkblå) och laddar under natten. Gröna staplar markerar grundlast. Grå staplar markerar tid då bilarna ej är hemma.

Det framgår av lastprofilen att problemet med överbelastningarna som visats i tidigare diagram för 80-procent elbilar kvarstår. Det går därför att utläsa att enbart åtgärden att flytta laddningen till natten inte skulle vara tillräcklig för att undvika behovet av förstärkningar.

### 3.3.3 Grundscenari 4: Bostadsområde med snabbbladdade elbilar och färre laddningstillfällen

I grundscenari 2 framkom det vid fallet då 40 procent elbilar antogs att belastningar på transformatorn större än 1 MW enbart inträffade vid ett tillfälle. Dock låg den vid ett flertal tillfällen nära denna gräns vilket motiverar att ett annat laddningsmönster undersöks. I figur 3.6 visas hur nätstationens lastprofil skulle förändras om elbilarna istället snabbbladdade (laddningseffekt på 6.6 kW) men enbart varannan dag. Likt tidigare är de gröna staplarna grundlasten och de blå staplarna fallet då 40 procent av bilarna är eldrivna.



**Figur 3.6 Effektförbrukning över nätstationen då 40 procent elbilar används utan styrning och med snabbladdning (mörkblå). Gröna staplar markerar grundlast. Grå staplar markerar tid då bilarna ej är hemma.**

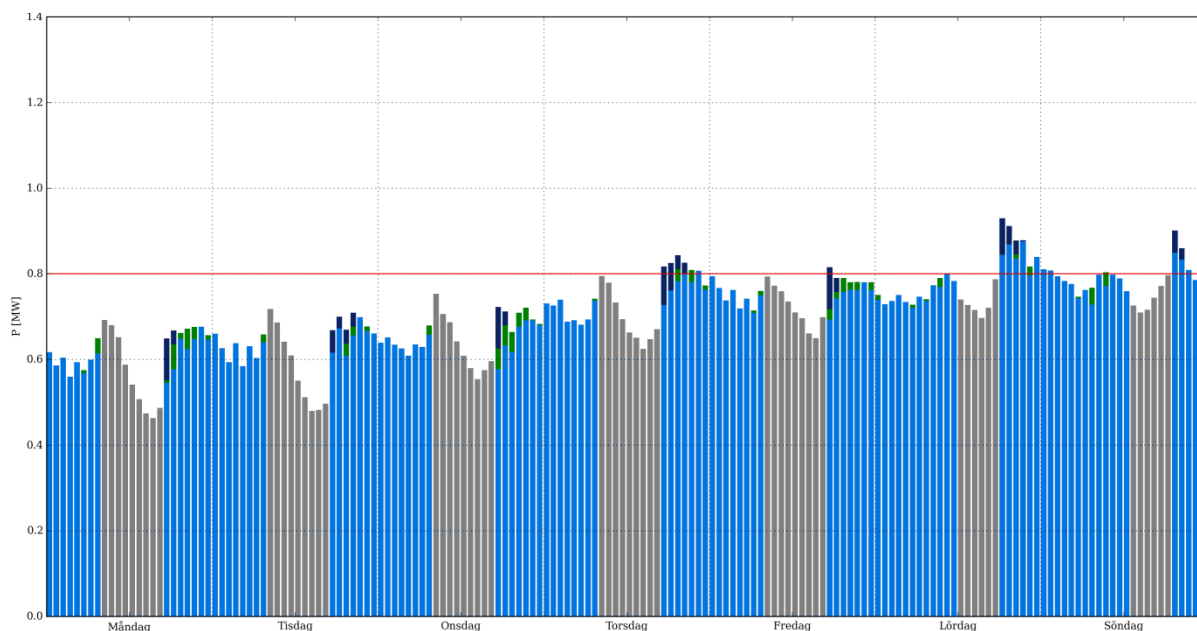
I detta fall överskrids gränsen för den maximala tillåtna överbelastningen på transformatorn vid flera tillfällen. Det kan därför antas vara tillräckligt för att motivera att behovet av någon typ av nätförstärkning genomförs eller att smarta laddningslösningar används för att minimera topparna.

### 3.3.4 V2H-scenario 1-3: Bostadsområde med varierande penetration av elbilar med V2H-styrning

I följande tre diagram visas hur lastprofilen över nätstationen skulle se ut då elbilarna i området var utrustade för V2H-laddning. Med i samtliga diagram finns grundlasten (grön) samt motsvarande elbilsvolym utan styrning från grundscenario 2 (mörkblå) som referens för fallet med smart laddning. V2H-styrningen representeras av de blå pelarna.

**V2H-scenario 1: 20 procent elbilar med V2H-styrning**

I figur 3.7 visas fallet då 20 procent elbilar antas.



**Figur 3.7** Effektförbrukning över nätstationen då 20 procent elbilar antas. I figuren visas fall grundlast G1 (grön), kontrollerad laddning G2 (mörkblå) samt V2H-scenariot (blå). Grå staplar markerar tid då bilarna ej är hemma.

I figuren går det att utläsa att skillnaden mellan de tre olika lastprofilerna inte skiljer sig nämnvärt. Det kan därför antas att incitamenten utifrån nätägarens perspektiv att införa V2H-laddning inte är stora i jämförelse med de två nästkommande fallen. I tabell 3.3 nedan visas en sammanfattning av resultatet. Den sista kolumnen visar ökningen från den största effekttoppen i det aktuella fallet jämfört med det högsta värdet i grundlasten.

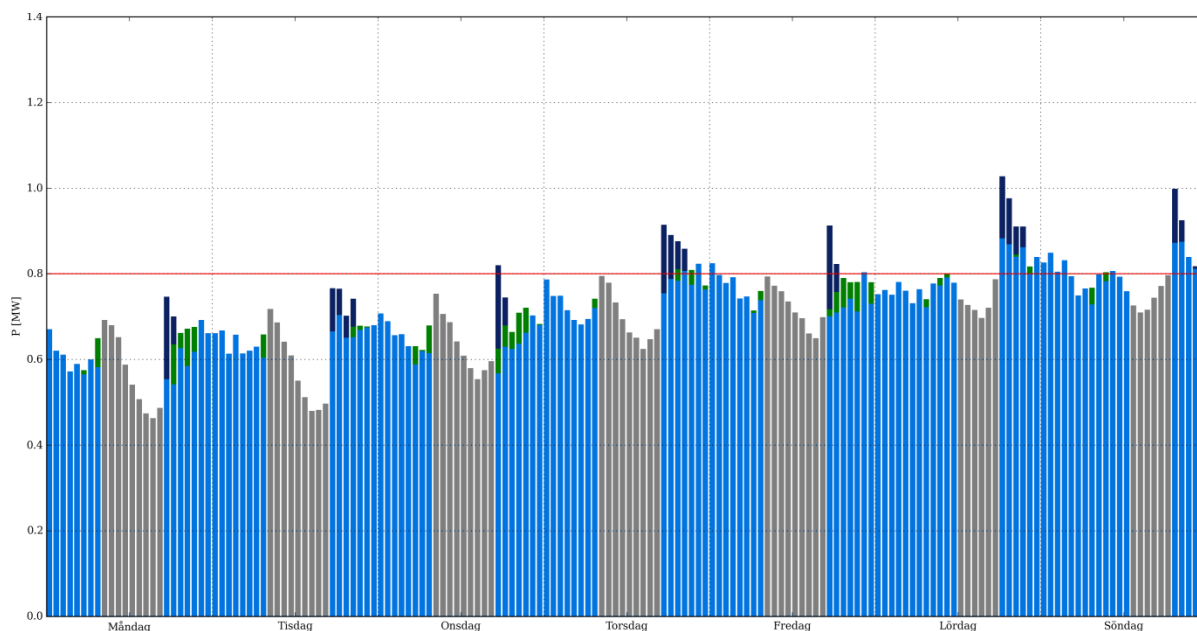
**Tabell 3.3** Sammanfattning av den sammanlagrade lasten vid 20 procent elbilar

Scenario	Max (MW)	Min (MW)	Max effekt (% av G1)
<b>G1</b>	0,846	0,463	100
<b>G2 20 %</b>	0,930	0,463	109
<b>V2H 20 %</b>	0,875	0,463	103



**V2H-scenario 2: 40 procent elbilar med V2H-styrning**

I figur 3.8 nedan visas fallet då 40 procent elbilar med V2H-styrning används i området.



**Figur 3.8** Effektförbrukning över nätstationen då 40 procent elbilar antas. I figuren visas grundlast G1 (grön), okontrollerad laddning G2 (mörkblå) samt V2H-scenariot (blå). Grå staplar markerar tid då bilarna ej är hemma.

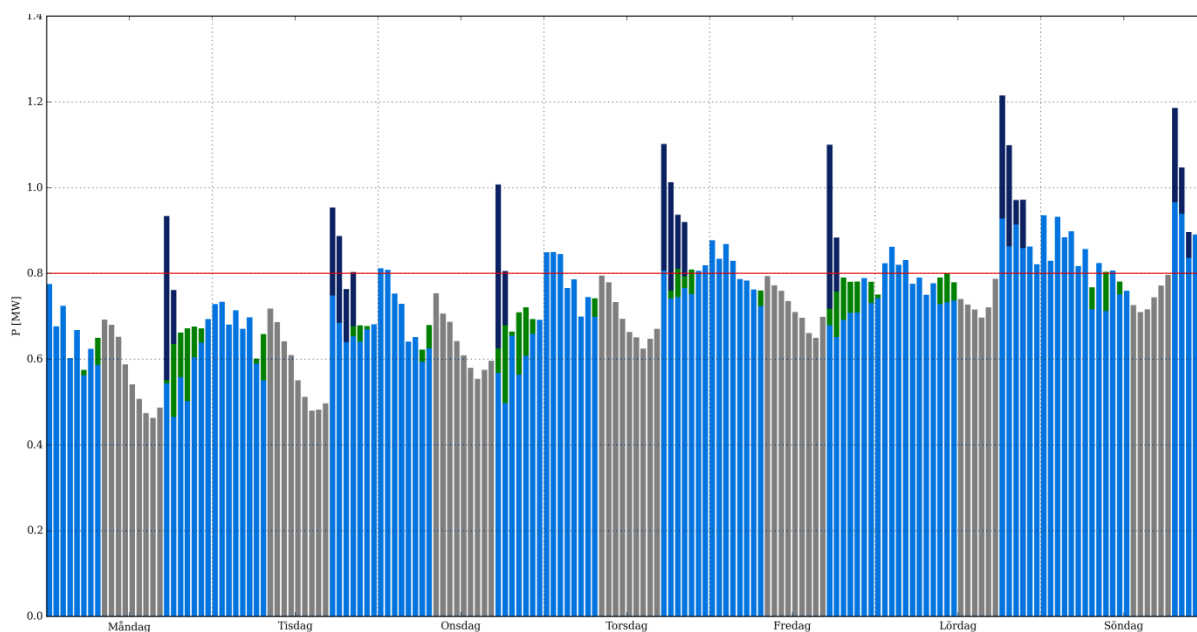
I detta fall blir det tydligt att de tillfällen då effekttopparna antingen överskred eller låg nära 1 MW vid grundfall 2 helt undviks då elbilarna laddas genom V2H. Det visar på nyttan med smart laddning även om grundfallet då elbilarna saknade styrning inte gav upphov till tillräckligt höga effekttoppar för att motivera nätförstärkning. I tabell 3.4 nedan visas en sammanfattning av resultatet.

**Tabell 3.4** Sammanfattning av den sammanlagrade lasten vid 40 procent elbilar

Scenario	Max (MW)	Min (MW)	Max effekt (% av G1)
<b>G1</b>	0,846	0,463	100
<b>G2 40 %</b>	1,03	0,463	121
<b>V2H 40 %</b>	0,883	0,463	104

**V2H-scenario 3: 80 procent elbilar med V2H-styrning**

I figur 3.9 nedan visas det sista V2H-scenariot då 80 procent elbilar används.



**Figur 3.9** Effektförbrukning över nätstationen då 80 procent elbilar antas. I figuren visas grundlast G1 (grön), okontrollerad laddning G2 (mörkblå) samt V2H-scenariot (blå). Grå staplar markerar tid då bilarna ej är hemma.

I detta fall visas en stor skillnad då V2H-laddning använts jämfört med fallet då elbilarna laddas i grundfall 2. Alla belastningar som överskrider 1 MW undviks och lasten blir betydligt jämnare och ligger närmare transformatorns maxgräns på 0,8 MW. Det kan därför konstateras att genom införandet av smartladdning i form av V2H kan eventuella nätförstärkningar helt undvikas. Det visar sig även att V2H-fallet sänker den minsta lasten jämfört med både G1 och G2. Detta kan förklaras med att regleringen utgår från det enskilda hushållet. Det kan mycket väl förekomma fall då vissa hushåll har hög last när den sammanlagrade lasten i nätstationen är låg. I dessa fall sänker elbilsbatteriet det aktuella hushållets last och därigenom den totala lasten i området. I tabell 3.5 nedan visas en sammanfattning av resultatet.

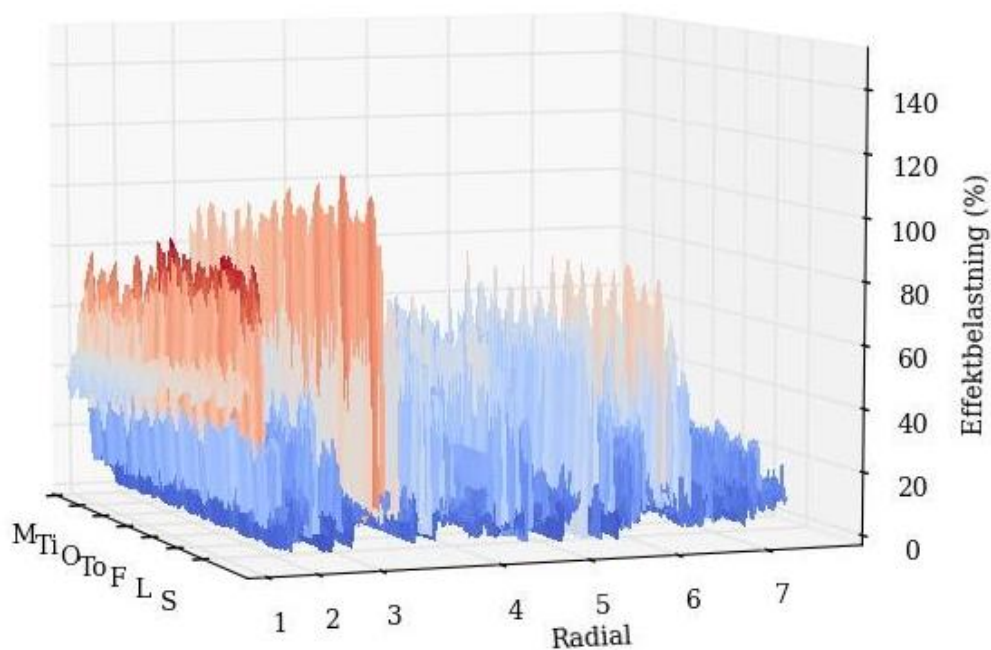
**Tabell 3.5** Sammanfattning av den sammanlagrade lasten vid 80 procent elbilar

Scenario	Max (MW)	Min (MW)	Max effekt (% av G1)
<b>G1</b>	0,846	0,463	100
<b>G2 80 %</b>	1,21	0,463	144
<b>V2H 80 %</b>	0,966	0,442	114

Utefter detta resultat bedöms behovet av V2H-tekniken vara som störst i detta fall och väljs därför som referens för projektets fortsättning. Nedan följer en utökad analys av mer nättekniska detaljer som uppstår vid detta scenario.

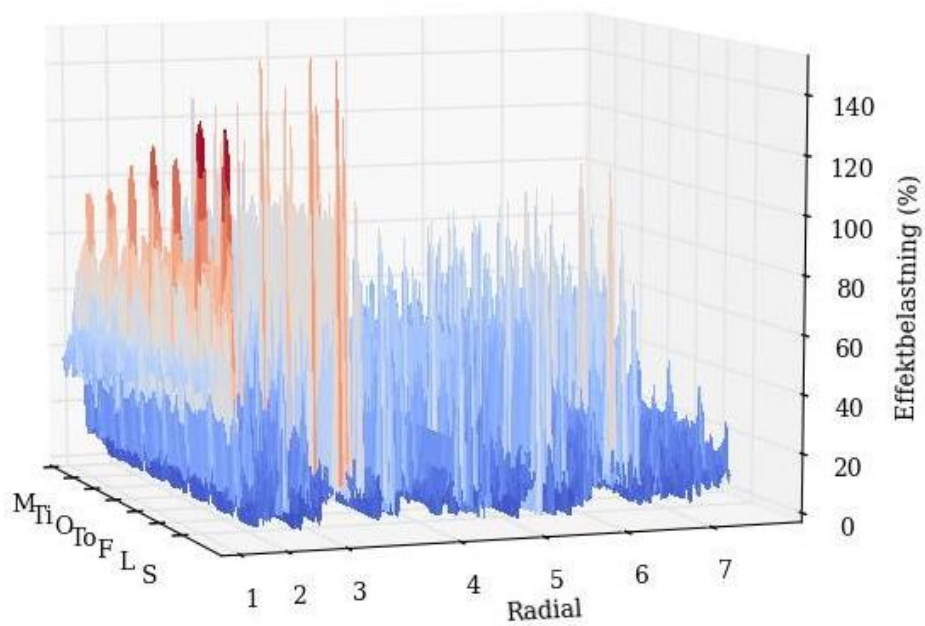
**Utökad analys av V2H-scenario 3: 80 procent elbilar med V2H-styrning*****Effektflöden i ledningar***

För att undersöka hur effektflödena i ledningarna påverkas av en elbilsvolym på 80 procent har ledningarnas maximala överföringskapacitet lagts in i nätmodellen i PSS/E och uppkommande belastningarna tagits med från simuleringarna. Resultaten visas för de tre olika fallen G1 (grundlast), G2 (okontrollerad laddning) och V2H (V2H-styrd laddning) i 3D-diagram nedan. Ledningsbelastning i procent av maximal tillåten effekt för kabeln redovisas på lodräta axeln, nätets sju radialer där de 168 anslutningspunkterna är fördelade på den horisontella axeln och veckodagar på axeln inåt. Den blå färgen markerar de lägre värdena i figuren och den röda färgen markerar de högre värdena.



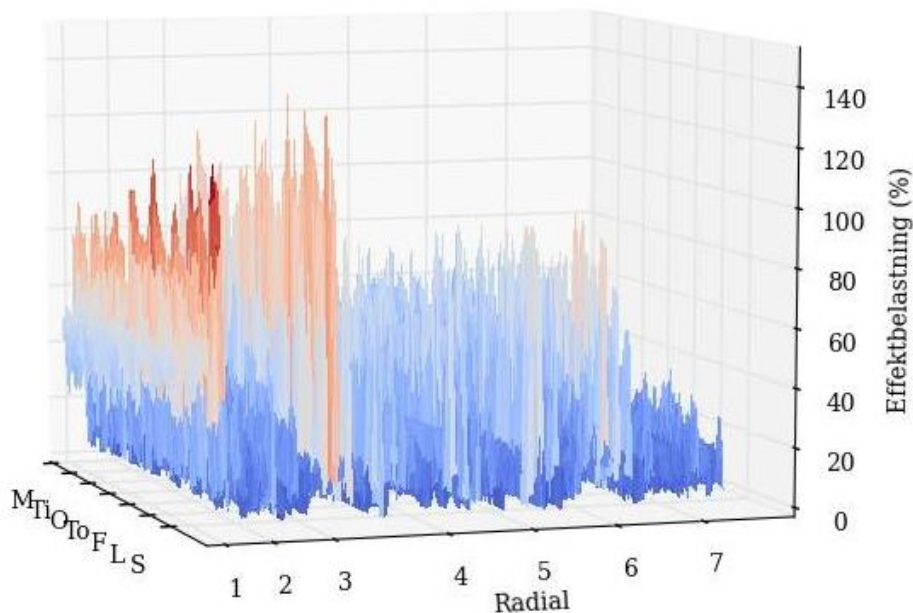
**Figur 3.10 Effektflöden i ledningar för fall G1**

I figur 3.10 visas effektflödena för G1-fallet. Ur figuren kan utläsas att de tre första radialerna har höga effektflöden som överstiger effektgränsvärdet.



Figur 3.11 Effektflöden i ledningar för fall G2

I figur 3.11 visas effektflödena för G2-fallet. Även här syns att de tre första radialerna har höga effektflöden. Speciellt utmärkande är radial 3 som har mycket hög belastning.



Figur 3.12 Effektflöden i ledningar för fall V2H

I figur 3.12 visas effektflödena för V2H-fallet. De tre första radialerna har fortfarande hög belastning. Radial tre har något lägre effektflöde jämfört med G2-fallet.

För att få en överblick över de faktiska värdena på de procentuella effektlödena redovisas i tabellen nedan det högsta och lägsta värdet på effektlödet för varje radial. Radial 0 anger värdena för de ledningar som går från nätstationen ut till första kabelskåpet i de olika radialerna.

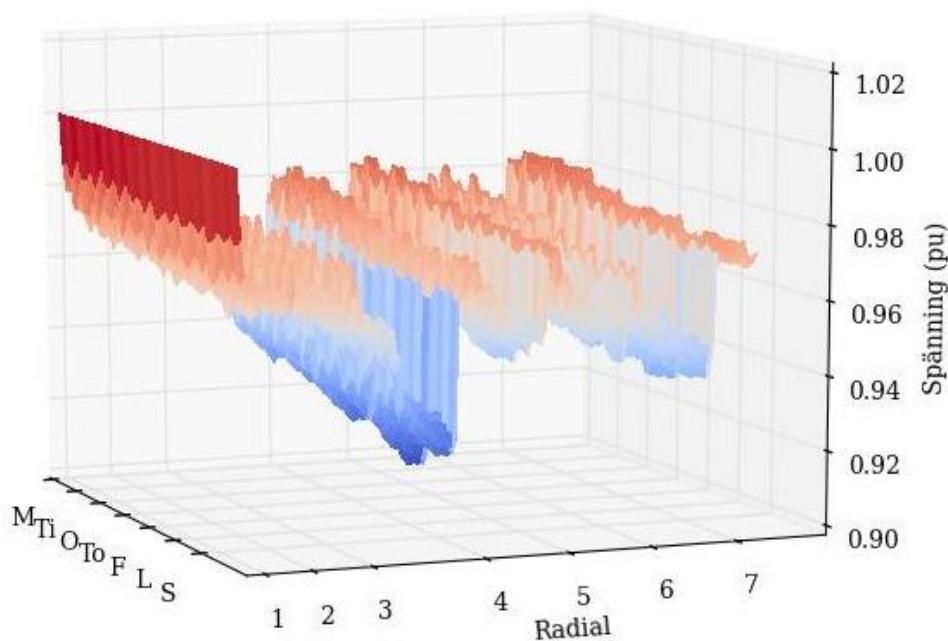
**Tabell 3.6 Effektlöden i ledningarna. De flöden som överstiger gränsen 113 % är markerade i rött.**

Radial	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>G1</b>								
Max (%)	91,2	41,3	50,8	113,9	69,7	73,2	83,4	32,2
<b>G2 80 procent</b>								
Max (%)	132	55,7	76,7	154	96,5	109	115	46,0
<b>V2H 80procent</b>								
Max (%)	118	47,9	57,1	136	84,7	94,6	95,8	41,9

I tabell 3.6 kan man se att radial 0 och 3 har de högsta värdena i alla tre fallen. Överbelastningen är dock högst i radial tre och går i samtliga fall över den tillåtna gränsen 113 procent. Denna gräns överskrids sedan i fler radialer för både G2- och V2H fallet och finns utmarkerade i tabellen.

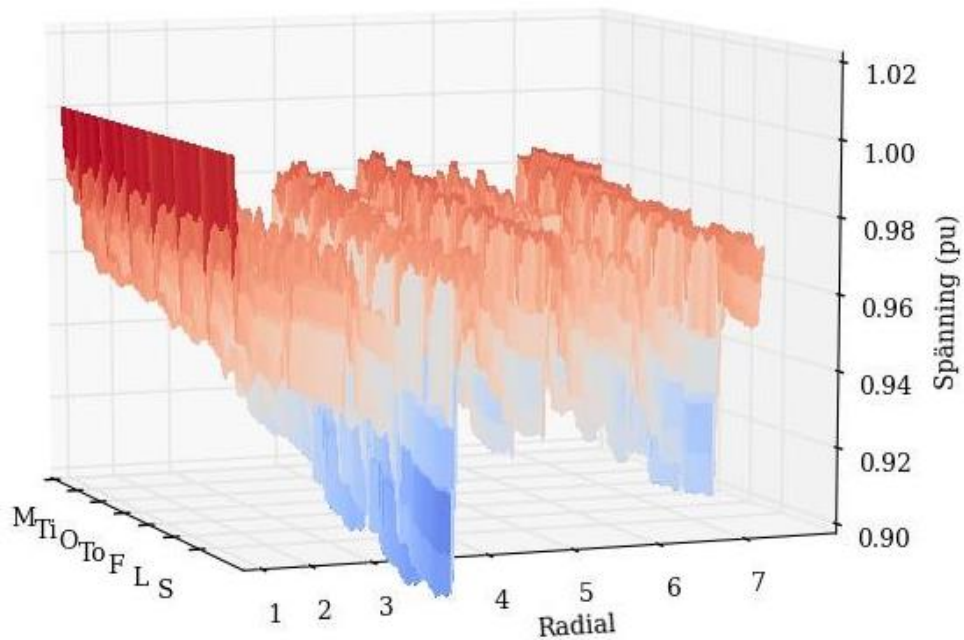
### *Spänningar i anslutningspunkter*

För att undersöka hur spänningen i anslutningspunkterna påverkas har spänningarna på alla noder i nätet tagits med från simuleringarna i PSS/E. Resultaten visas för de tre olika scenarierna G1, G2 och V2H i 3D-diagram nedan. Diagrammen är uppbyggda enligt likande struktur som i föregående avsnitt. Spänningen i per unit (pu) där 1 pu motsvarar den nominella spänningen 230 V redovisas på lodräta axeln. Nätets sju radialer där de 168 anslutningspunkterna är fördelade visas på den horisontella axeln och veckodagar på axeln inåt. Den blå färgen markerar de lägre värdena i figuren och den röda färgen markerar de högre värdena.



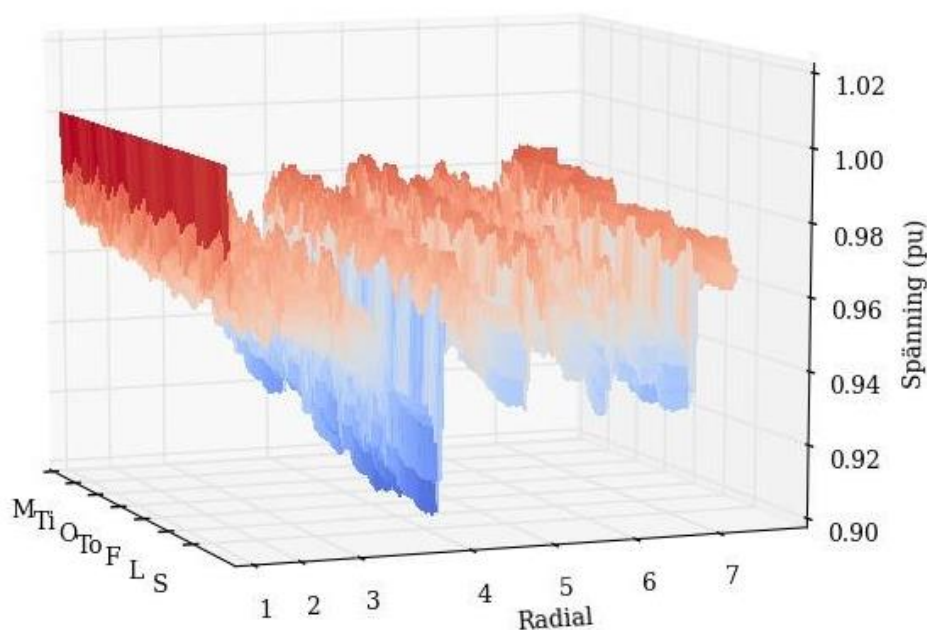
**Figur 3.13 Spänningar i anslutningspunkter för fall G1.**

I figur 3.13 visas spänningsvärden för G1-fallet. Ur figuren kan det utläsas att det blir störst spänningsfall i den tredje radialen.



Figur 3.14 Spänning i anslutningspunkter för fall G2.

I figur 3.14 visas spänningsvärden för G2-fallet. Även här syns att den tredje radialen har störst spänningsfall och även de efterföljande fjärde, femte och sjätte radialen upplever låga värden. Dock är det enbart den tredje radialen som underskrider den kritiska gränsen på 0,9 pu. Detta är ett resultat av den höga last som denna radial upplever vid påslaget av elbilarna.



Figur 3.15 Spänningsnivåer i anslutningspunkter för fall V2H.

I figur 3.15 visas effektlödena för V2H-fallet. Tredje, fjärde, femte och sjätte radialen upplever fortfarande spänningsfall. Spänningsfallet för radial tre är mindre än i G2-fallet och håller sig inom gränsen på tio procent.

För att få en överblick över de faktiska värdena på spänningsvärdena redovisas i tabellen nedan det högsta och lägsta värdet på spänningen för varje radial. Radial 0 anger värdena för lågspänningsskenan i transformatorn.

Tabell 3.7 Max- och minvärden för spänningsnivå i anslutningspunkter i fall G1, G2 och V2H. Spänningsfall under 10 procent är markerade i rött.

Radial	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>G1</b>								
Max (%)	0,989	0,983	0,986	0,985	0,984	0,986	0,983	0,985
Min (%)	0,979	0,957	0,958	0,917	0,943	0,944	0,935	0,965
<b>G2 80 procent</b>								
Max (%)	0,989	0,983	0,986	0,985	0,984	0,986	0,983	0,985
Min (%)	0,968	0,936	0,934	0,883	0,916	0,916	0,904	0,947
<b>V2H 80procent</b>								
Max (%)	0,989	0,983	0,986	0,985	0,984	0,986	0,984	0,987
Min (%)	0,975	0,951	0,949	0,904	0,931	0,929	0,928	0,958

I tabell 3.7 kan man se att radial tre, fyra, fem och sex har ett spänningsfall upp till tio procent i alla tre fallen. För höga spänningar uppstår aldrig (över 1,0). Radial 3 upplever i G2-fallet ett spänningsfall under tioprocents-gränsen med 0,883 procent vilket är utmarkerat i tabellen. V2H-fallet håller sig precis på gränsen med 0,904 procent. Anledningen till att spänningens högsta värde sker då V2H används förklaras med samma resonemang som då lasten studerades. Genom

att regleringen sker vid varje enskilt hushåll uppstår området minsta last i V2H-fallet och därigenom också den högsta spänningen.

### **Nätförluster**

I alla tre fall har nätförluster inom nätstations nätområde beräknats i PSS/E. Dessa sammanfattas i tabellen nedan.

**Tabell 3.8 Sammanlagda nätförluster för fall G1, G2 och V2H.**

Fall	Sammanlagda förluster under veckan (MWh)
<b>G1</b>	1,34
<b>G2 80 procent</b>	1,49
<b>V2H 80 procent</b>	1,46

Som visas i tabell 3.8 ökar förlusterna i G2 jämfört med G1-fallet. Vid V2H-styrning minskar förlusterna marginellt jämfört med G2.

## **3.4 Summering av simuleringsresultat**

Nedan följer en kort sammanfattning av det resultat som framkom av simuleringarna.

- Grundscenario 1 visade att nätstationen i nuvarande skick har en hög belastning och vid flera tillfällen överskrider transformatorns maximala överföringskapacitet 0,8 MVA.
- Vid grundscenario 2 synliggörs att nätstationens nuvarande kapacitet inte skulle räcka till för att hantera de effekttoppar som en elbilsflotta på 80 procent skulle ge upphov till utan att några åtgärder genomfördes. Även vid 40 procent börjar belastningen närma sig gränsen för vad nätet klarar av.
- Grundscenario 3 visar att åtgärder så som att flytta laddningen till natten inte skulle vara tillräckligt för att parera de problem som uppstår då området består av 80 procent elbilar.
- Grundscenario 4 uppvisar tillräckligt stora problem i nätet redan vid 40 procent elbilar i ett scenario då dessa önskar snabbbladda för att motivera att någon åtgärd tas för att minska topparna.
- V2H-scenarionerna visar att tekniken i samtliga fall sänker effekttopparna jämfört med fallen då elbilarna saknar styrning.
- I fallen då V2H-laddning används sänks också grundlasten vid vissa tidpunkter under veckan.
- Störst nytta för nätet har V2H-scenario 3 då 80 procent elbilar antas. Detta förhindrar att lasten någonsin överstiger 1 MW.
- Radial 3 är den del av nätet som är tyngst belastad och uppvisar ett spänningsfall som överstiger 10 procent.



### 3. NÄTANALYS

---

- Även då det kommer till belastning i ledningarna uppvisar radial 3 för höga värden i samtliga undersökta fall.
- De utgående ledningarna från transformatorns nedsida (radial 0) riskerar också för höga effektflöden i både G2-fallet och V2H-fallet då 80 procent elbilar antas.

## 4. Affärsmodell

*I detta kapitel skapas en affärsmodell med utgångspunkt från simuleringsresultatet för den energitjänst för effektreducering som ska kunna erbjudas av ett elnätsföretag. Affärsmodellen byggs upp med hjälp av block från BMC-modellen som beskrivs i den teoretiska bakgrunden. Kapitlet börjar med en beskrivning av energitjänstens utformning och de antaganden som ligger till grund för de beräkningar som utförs. Därefter följer en genomgång av de nyckelblock som valts ut för att skapa affärsmodellen och beräkningar för de kostnader och intäkter som kopplas till tjänsten. I en ekonomisk utvärdering presenteras de ekonomiska posterna i resultatdiagram. Kapitlet avslutas med en känslighetsanalys och en sammanfattning av de viktigaste delarna ur affärsmodellen.*

### 4.1 Affärsmodell: Energitjänst för V2H

#### 4.1.1 Översiktlig beskrivning av tjänstens utformning

Den affärsidé som ligger till grund för den energitjänst som skapas med V2H-tekniken är att elbilens batteri ska användas som energilagring och hjälpa till att kapa effekttoppar i lokalnätet under höglasttimmar. Med denna åtgärd kommer det bli ett jämnare effektflöde i nätet med mindre toppar, vilket leder till mindre nätförluster, reducerade kostnader mot överliggande nät samt undvikande av nätförstärkning och längre livslängd för nätinfrastrukturen. Alla dessa kostnadsposter ingår i den reglerade elnätsaffären.

Tjänsten är tänkt att vända sig till elbils kunder med elbilar utrustade med V2H-teknik. Under vintermånaderna ska elbilsbatteriet användas för att förse hushållen med elenergi under höglasttimmar för att minska belastningen på elnätet och laddningen av elbilen styrs till timmar med lägre last. I utbyte kommer kunden få en ersättning i någon form. Tjänsten utnyttjar alltså till viss del konceptet passiv efterfrågefleksibilitet som beskrivs i den teoretiska bakgrunden under avsnitt 2.5.2 Framtidens elmarknad.

Kunden ska kunna kommunicera med elnätsföretag och fordon med hjälp av en för tjänsten designad mobilapplikation. Genom mobiltelefonen ska kunden även ha möjlighet att kommunicera om den under perioden behöver avvika från sin planerade körprofil. Tjänstens utformning ska vara sådan att den i minsta möjliga mån påverkar elbilens syfte som transportmedel och även minimerar batterislitage.

### 4.1.2 Antaganden och förutsättningar för beräkningar

De antaganden som ligger till grund för den affärsmodell som skapas är följande

- Andelen elbilar är 80 procent
- Vid utformning av energitjänsten antas att V2H-tekniken beskriven i den teoretiska bakgrunden är kommersiellt gångbar och har nått en hög teknikmognad.
- Batteristorleken är densamma som i simuleringarna, 60 kWh.
- En utarbetad smart telefonapplikationslösning för kund samt styrningen från elnätsföretaget antas vara framtagen och ha genomgått pilotstudie/försöksprojekt.
- Elnätstariffen ser ut som standard idag, med en fast kostnad för säkringsabonnemang och en rörlig överföringskostnad baserad på överförda kilowattimmar. För att kunden ska kunna ta del av kostnadsminskningen det innebär att flytta förbrukning från höglasttimmar till timmar med lägre last antas ett elavtal med timprissättning.
- Perioden som tjänsten sträcker sig över är satt till 13 veckor under vinterhalvåret. Detta är en period som valts för att täcka in vintermånaderna december, januari och februari. Denna period kan förlängas eller förkortas efter behov. I de efterföljande kapitlena baseras alla beräkningar på en tjänsteperiod på 13 veckor.
- Alla intäkts- och kostnadsberäkningar bygger på en jämförelse mellan okontrollerad laddning (fall G2) av elbilarna och V2H-styrning.
- De poster som redovisas under intäkter är alla i form av minskade kostnader. Den vinst som redovisas för elnätsföretaget är alltså i form av minskade kostnader. Dessa minskade kostnader kommer påverka intäktsramen och vissa delar kommer räknas som effektiv utnyttjande av elnätet enligt regleringsperioden 2016-2019 som beskrivs i avsnitt 2.6.1 Reglering och intäktsram. De beräknade kostnadsminskningarna anpassas inte efter intäktsramen utan redovisas som de är framräknade enligt ekvationer och tabeller.

För att kunna bygga upp affärsmodellen och utföra nödvändiga beräkningar baseras affärsmodellen på data från de utförda simuleringarna på näststation i Danderyds lokalnät. För mer information om Danderyd och nätstationen samt tekniska simuleringsresultat hänvisas läsaren till Kapitel 3 Nätmodellering.

### 4.1.3 Nyckelblock för affärsmodell

I denna del kommer de block ur BMC-modellen som är relevanta för denna typ av affärsmodell att tas upp. Författarna har valt att ta upp de fyra byggstenarna kundsegment, intäkter, kostnader och värdeerbjudande för mer utförliga beskrivningar samt beräkningar. Övriga byggstenar (kundrelation, distributionskanaler, nyckelresurser, nyckelaktiviteter och nyckelpartners) är i detta tidiga idéstadium så pass spekulativa att dessa endast kommer tas upp under diskussionen i kapitel 6. En utförlig teoretisk beskrivning av BMC-modellen finns i den teoretiska bakgrunden under avsnitt 2.7.1 Business Model Canvas.

### Kundsegment

Denna tjänst riktar sig i första hand mot elkunder i ett lokalnät vars nätstruktur har en hög belastning och riskerar att få nättekniska störningar på grund av effektbehovets storlek. Detta kan till exempel handla om kunder som bor i villakvarter där uppvärmningen domineras av el eller andra tätbebyggda områden vars lokalnät är i behov av förstärkning. Anledningen till att området bör vara tätbebyggt är att den potentiella närvaron av elbilar ökar vilket också ökar nyttan i tjänsten. Det är dock viktigt att komma ihåg att V2H-tekniken som sådan kan vara fördelaktig för den enskilda kunden även i glesbebyggelse men att nätnyttan för elnätägaren minskar då en mindre andel elbilar finns närvarande.

I denna studie representeras det tänkta kundsegmentet av elkunderna under en nätstation i Danderyd. Denna nätstation tillhör ett lokalnät som passar väl in i bilden av den påtänkta kunden och är därför lämplig att användas som underlag för studien. Nätet består av 177 nätstationer och ligger i ett ytterstadsområde som karakteriseras av eluppvärmda villor, höga effekttoppar och som dessutom tenderar att få ett allt större antal elbilar. Under hela lokalnätet finns 13 236 kunder och i den aktuella nätstationen är 120 hushåll anslutna. Denna affärsmodell utgår ifrån att 80 procent av dessa hushåll har elbilar år 2030. Detta ger kundantal som används för beräkningarna för affärsmodellen enligt tabell 4.1 nedan.

**Tabell 4.1. Kundantal med V2H-styrning samt antal nätstationer under lokalnät.**

<b>Antal V2H-kunder nätstation</b>	96
<b>Antal V2H-kunder lokalnät</b>	10 589
<b>Antal nätstationer i lokalnät</b>	177

En mer detaljerad beskrivning av området och kunderna går att hitta under kapitel 3 Nät simulering i avsnitt 3.1.2 Kundbeskrivning.

### Intäkter

I V2H-energitjänsten finns inga rena intäcksströmmar utan vinsten är i form av minskade kostnader. De identifierade posterna är minskad avgift mot överliggande nät, undvikande av nätförstärkning samt minskade förluster. Dessa poster kommer beskrivas nedan med utgångspunkt från simuleringsresultatet.

#### *Utebliven nätförstärkning*

G2-fallet med okontrollerad elbilsladdning innebär ett ökat effektuttag som överskrider mer än 120 procent av transformatorns kapacitet enligt simuleringsresultatet. För att bättre klara det ökade effektuttaget skulle en nätförstärkning i form av ytterligare transformator vara nödvändig. I V2H-fallet skulle en sådan nätförstärkning inte behövas, och denna kostnad skulle kunna undvikas. En ny transformator skulle enligt översikt i kartverket dpPower kunna placeras bredvid den ursprungliga transformatorn för att minimera kostnader för ny kabeldragning. En ny 800 kVA transformator utan extra kabeldragning innebär en investeringskostnad på 800 000 kronor (Gustafsson, 2016). Simuleringsresultatet visar även att vissa ledningar överbelastas och även de skulle kunna bli aktuella för nätförstärkning. Detta bortses från i dessa beräkningar då V2H-styrningen i detta fall inte minskade belastningen på ledningarna tillräckligt mycket enligt

simuleringsresultatet. För att beräkna den årliga kostnaden för investeringen används annuitetsmetoden enligt ekvation 4.1 nedan.

$$A = PV * \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (4.1)$$

*A*= annuitetskostnad

*PV*= nuvärde

*i*=ränta

*n*=livslängd

I tabell 4.2 nedan redovisas de värden som använts i beräkningarna för parametrarna ovan, realränta och livslängd är standard för elnätsbranschen och beskrivs i den teoretiska bakgrunden under delkapitel 2.6.1 Reglering och intäktsram.

**Tabell 4.2** Värden för beräkningar för minskad kostnad för nätinфраstruktur

<b>PV (SEK)</b>	800 000
<b>i (%)</b>	4,53
<b>n (år)</b>	40

För att sedan fördela denna minskade kostnad per kund i nätstation respektive lokalnät används följande ekvationer.

$$\text{Kostnadsminskning nätinфраstruktur / kund nätstation} = \frac{A}{V2Hkunder_{nätstation}} \quad (4.2)$$

$$\text{Kostnadsminskning nätinфраstruktur / kund lokalnät} = \frac{A}{V2Hkunder_{lokalnät}} \quad (4.3)$$

*n*= antal nätstationer i lokalnät

$V2Hkunder_{nätstation}$  = antal kunder med V2H-styrning under nätstation

$V2Hkunder_{lokalnät}$  = antal kunder med V2H-styrning i lokalnät

Antal kunder och nätstationer återfinns i tabell 4.1. Med beräkningar enligt ekvation 4.1 -4.3 fås ett resultat enligt tabell 4.3 nedan.

**Tabell 4.3** Beräknade värden för årlig minskad kostnad för infrastruktur

<b>Annuitetskostnad (A) (SEK)</b>	43 475
<b>Minskad kostnad/kund nätstation (SEK)</b>	453
<b>Minskad kostnad/kund lokalnät (SEK)</b>	727

I dessa beräkningar antas att nätförstärkningskostnaderna är direkt uppskalbara till lokalnätets nivå. De beräknade värdena är den årliga kostnadsminskning som kan erhållas.

#### ***Minskade förluster***

Enligt simuleringsresultatet ger V2H-styrningen en minskning av nätförluster jämfört med G2-fallet (okontrollerad laddning) på 30 kWh under den simulerade veckan. För att skala upp dessa förluster till lokalnätets nivå antas att ledningarna är dimensionerade som i det simulerade fallet och att det är lasten som är avgörande för nätförlusterna. Under den simulerade veckan utgör den studerade nätstationens grundlast en procent av lokalnätets totala last. Därför skalas nätstationens värde upp med en faktor 100 för att motsvara lokalnätets förluster. För att beräkna värdet av dessa förluster används ett av EI förutbestämt pris för nätförluster på 0,455 kr/kWh (Energiforsk, 2015). Den minskade kostnaden beräknas enligt nedan

$$\text{Kostnadsminskning nätförluster} = \Delta \text{ nätförluster} * \text{pris} * \text{period} \quad (4.4)$$

I tabell 4.4 nedan redovisas värdena som använts i beräkningarna

**Tabell 4.4. Värden för beräkningar av nätförluster under tjänsteperioden.**

<b><math>\Delta</math> nätförluster nätstation (kWh/vecka)</b>	30
<b><math>\Delta</math> nätförluster lokalnät (kWh/vecka)</b>	3000
<b>Pris (kr/kWh)</b>	0,455
<b>Period (veckor)</b>	13

Efter beräkningar enligt ekvation 4.4 fås ett resultat för minskade kostnader för förluster på nätstationsnivå på 177 kr på nätstationsnivå respektive 17 750 kr på lokalnätets nivå. Eftersom denna kostnadsminskning ska slås ut på alla V2H-kunder under nätstation respektive lokalnät dras slutsatsen att kostnadsminskningen för minskade förluster kan försummas.

#### ***Minskad kostnad mot överliggande nät***

Avgift mot överliggande nät är en kostnadspost som kan ge en stor kostnadsminskning för elnätsföretaget. Denna post kräver dock att hela lokalnätet under avräkningspunkten har reducerat effektuttag eftersom avräkningen inte sker per nätstation. Därför antas att Danderyds lokalnät som är den avräkningspunkt som den simulerade nätstationen räknas under har en likande effektuttagsreducering som den simulerade nätstationen. Danderyds lokalnät hade år 2012 ett abonnemang mot överliggande nät på 83 MW. Högsta effekttopp för de olika simulerade fallen redovisas i tabell 4.5 nedan. G1 representerar ursprungfallet, G2 okontrollerad laddning och V2H representerar V2H-scenariot.

Tabell 4.5 Maximalt effektuttag för de simulerade fallen

Fall	G1	G2	V2H
<b>Maximalt effektuttag (MW)</b>	0,846	1,21	0,966

Eftersom fall G1 har en högsta effekttopp som motsvarar ungefär en procent av lokalnätets abonnemang 2012 antas detsamma för fall G2 och V2H och dessa multipliceras därför med en faktor 100 för att få effektbehovet för lokalnätet enligt

$$Max\ effektbehov_{nätstation} * 100 = Max\ effektbehov_{lokalnät} \quad (4.5)$$

Detta ger ett abonnemang för effektuttag på 1,21 MW för fall G2 och 0,966 MW för V2H. För att beräkna kostnaden för överliggand nät multipliceras skillnaden mellan dessa effektuttag med abonnemangspriset som år 2012 var 167 kr/kW (Thuring, 2016).

$$Kostnadsminskning\ ö.\ nät = \Delta\ Effektuttag * abonnemangspris \quad (4.6)$$

Därefter beräknas hur denna kostnadsminskning ska fördelas på kunderna i nätstationen genom

$$\frac{Kostnadsminskning\ ö.\ nät}{kund} = \frac{Kostnadsminskning}{V2Hkunder_{lokalnät}} \quad (4.7)$$

Tabell 4.6 Beräknade värden för årlig minskad kostnad mot överliggande nät

<b>Kostnadsminskning ö.nät (SEK)</b>	4 160 000
<b>Kostnadsminskning ö.nät/kund lokalnät (SEK)</b>	393

I avgiften mot överliggande nät ingår även en så kallad straffavgift som måste betalas om effektuttaget överskrider den abonnerade effekten vilken beskrivs i den teoretiska bakgrunden under delkapitel 2.3 V2H-Nätperspektivet. Denna del har bortsetts från i ovanstående beräkningar.

### Kostnader

Det finns inga direkta kostnader för elnätsföretaget i V2H-energitjänsten. Dock kommer företaget att ersätta kunden för utgifter knutna till tekniken vilket beskrivs mer under stycket Värderbjudande i detta delkapitel. Dessutom innebär tjänsten en minskad intäkt i form av en sänkt överföringsavgift. Denna beskrivs nedan.

#### *Minskad överföringsavgift*

De V2H-styrda bilarna laddas inte upp till högsta SOC-nivå varje dag, vilket leder till att de förbrukar något mindre elenergi från det egna lokalnätet i jämförelse med G2-fallet. I modellen antas att laddningen sker utanför hemmet för en av kundgrupperna. De V2H-styrda bilarna har mer tillgänglig kapacitet i batteriet och kan ladda mer utanför hemmet. Detta leder till att V2H-fallet ger en minskad överföringsavgift till elnätsföretaget. Denna minskning beräknas genom att multiplicera skillnaden i överförd energi under den simulerade veckan med överföringsavgiften och periodtiden enligt

$$\text{Minskad överföringsavgift} = \Delta \text{överförd elenergi} * \text{avgift} * \text{period} \quad (4.8)$$

För att beräkna detta över hela perioden per kund delas det beräknade värdet med antal V2H-kunder under nätstationen. Den minskade intäkten per kund antas vara samma för lokalnätskunderna som för nätstationskunderna. Överföringsavgiften sätts till 0,286 SEK/kWh enligt E.ONs överföringsavgift för Stockholmsområdet (16 A säkring) (E.ON, 2016 c)

I tabell 4.7 nedan redovisas de värden som använts.

**Tabell 4.7** Värden för beräkningar för minskad överföringsavgift

$\Delta$ Överförd elenergi nätstation (kWh)	939
Överföringsavgift (SEK/kWh)	0,286
Period (veckor)	13

I tabell 4.8 nedan redovias det beräknade resultatet

**Tabell 4.8** Beräknade värden för minskad överföringsavgift för tjänstperioden

Minskad överföringsavgift (SEK)	3490
Minskad överföringsavgift/kund (SEK)	36

### Kostnad för kund

Kunden får två kostnadsposter till följd av V2H-energitjänsten; en ökad kostnad för extra teknik i laddinfrastrukturen som krävs för V2H samt en ökad kostnad på grund av ett större batterislitage. Dessa poster värderas nedan.

#### *Laddinfrastruktur*

Tekniken som möjliggör V2H är placerad i laddboxen och krävs för att kunden ska kunna tillgodoräkna sig tjänsten. Denna laddinfrastruktur är mer kostsam än den box som saknar



möjlighet för tvåvägskommunikation och medför därför en ökad kostnad för kunden. I den teoretiska bakgrunden under delkapitel 2.2.3 Marknadsläge och teknikmognad tas kostnaden för laddinfrastruktur upp. Då V2H-tekniken är kommersiell antas ett pris på 10 000 kr för en V2H laddbox. Idag kostar en vanlig laddbox 10 000 kronor. Det antagande som görs är att den vanliga laddboxen sjunkit i pris till ca 5000 kronor, vilket innebär en ökad kostnad för en V2H-laddbox på 5000 kr. För att beräkna denna kostnad över livslängden används annuitetsmetoden (se ekvation 4.1). Det antas inte att kunden tar ett separat lån för denna investering. Räntan antas vara 1 procent. I tabell 4.9 nedan redovisas de värden som använts.

**Tabell 4.9** Värden som använts för att beräkna årliga kostnaden för laddinfrastruktur

<b>PV(SEK)</b>	5000
<b>Ränta (%)</b>	1
<b>n (år)</b>	15

Annuitetskostnaden för laddinfrastrukturen beräknas till 361 kronor.

#### ***Kostnad för batterislitage***

Att använda elbilen i V2H-energitjänsten leder till ett ökat slitage på batteriet på grund av upp- och urladdningen som sker flera gånger vid varje styrtillfälle. När elbilsbatteriet tappat 30 % av sin kapacitet anses det inte längre vara brukbart som bilbatteri. Slitaget som är kopplat till V2H-styrningen kan värderas genom att beräkna kostnaden för varje dygn med aktiv V2H-styrning med hjälp av de uppskattningar på slitage för elbilsnättjänster och batterikostnad som finns beskriven i den teoretiska bakgrunden under delkapitel 2.2.2 Batteriteknik. Eftersom nettolaststyrning är den elbilsnättjänst som har mest liknade SOC-kurva som vid V2H-styrning används dessa värden för slitage. Vid nettolaststyrning är dock bilen tillgänglig för upp- och urladdningen under största delen av dygnet. Värdena på slitaget redovisas i tabell 4.10 nedan

**Tabell 4.10** Värden på slitage som använts i beräkningarna

<b>Effekt (kW) (hemma/arbete)</b>	<b>Slitage per dygn (%)</b>
<b>Fall 1 : 1,44/7,2</b>	0,0059
<b>Fall 2: 7,2/7,2</b>	0,013

I de utförda nätsimuleringarna har elbilarnas batterier varit tillgängliga för upp- och urladdning mellan klockan 17.00 och 08.00 (15 h) med en laddeffekt på 3,7 kW. De hamnar därmed mellan de båda beskrivna fallen ovan både i laddeffekt och under en kortare tidsperiod. Därför beräknas en medeffekt för fall 1 baserat på tid vid hem och arbete och sedan görs en interpolering mellan de olika värdena på slitage i tabellen ovan. Detta ger ett slitage på elbilsbatteriet på 0,0066 procent per dygn vilket ger ett slitage på elbilsbatteriet enligt våra simuleringar med en tillgänglighetstid på 15 h/dygn på 0,0049 procent. För att beräkna kostnaden för det extra slitaget används följande ekvation

$$\text{Kostnad batterislitage/dygn} = \frac{\text{Nyanskaffningsvärde}}{\frac{\text{Slitagegräns}}{\text{Slitage/dygn}}} \quad (4.9)$$

Nyanskaffningsvärdet för ett elbilsbatteri beräknas med den kostnadsnivå som batteritillverkare spår vara gränsen för att elbilen ska kunna konkurrera med den fossil förbränningsmotorn vilket beskrivs i kap 2.2.3 Marknadsläge och teknikmognad. Denna kostnad är 100 USD/kWh vilket motsvara ca 850 SEK/kWh och med en batteristorlek på 60 kWh blir nyanskaffningsvärdet 50 000 kronor.

De värden som använts redovisas i tabell 4.11 nedan

**Tabell 4.11** Värden som använts för beräkning av batterislitage

<b>Slitagegräns</b>	30 %
<b>Slitage/dygn (V2H-styrning)</b>	0,0049 %
<b>Nyanskaffningsvärde</b>	50 000 SEK

För att slutligen beräkna den totala slitagekostnaden multipliceras kostnaden per dygn med antal dygn i perioden (13 veckor).

$$Kostnad\ batterislitage = \frac{Slitagekostnad}{dygn} * \frac{dygn}{period} \quad (4.10)$$

Med beräkningar enligt ekvation 4.9 och 4.10 fås ett värde på kostnaderna för batterislitage enligt tabell 4.12 nedan

**Tabell 4.12.** Beräknade värden för kostnad för batterislitage för tjänsteperioden

<b>Kostnad batterislitage/dygn (SEK per kund)</b>	7,51
<b>Kostnad batterislitage (SEK per kund)</b>	683

### Värdeerbjudande

I de föregående avsnitten har kostnader och intäkter för elnätsföretaget redovisats men frågan om värdet för kunden är fortfarande obesvarad. Huruvida tjänsten erbjuder en ekonomisk nytta för elnätsföretaget går att utläsas med hjälp av de kostnads/intäkts-poster som beskrivits vilket förtydligas i nästkommande avsnitt. För att synliggöra kundens vinst måste dock perspektivet vidgas något från enbart nätägarens. Det sätt som tjänsten berör kunden hamnar i viss mån utanför elnätsföretagets verksamhet och är istället kopplad till elhandelsföretaget. Utformningen av den kundrelation som kvarstår inom ramen för tjänsten från elnätsägarens perspektiv kan variera och är i dagens läge svår att förutse. Av den anledningen kommer flera olika alternativ behandlas under stycket Paketering av tjänsten i detta avsnitt där också synen på kunden som enbart konsument utmanas.

**Värde för kunden**

Det ekonomiska värde som tjänsten erbjuder kunden kan delas upp i flera poster. Den första berör kundens elpris. Eftersom kunderna antas ha timprissättning kommer en förflyttning från höglasttimmar till timmar med lägre last innebära en kostnadsbesparing. För att beräkna denna besparing som kunden indirekt kan tillgodogöra sig genom tjänsten beräknades minskningen för elhandel med aktuellt spotpris för den simulerade perioden. Denna summa skalades sedan upp för hela perioden enligt ekvationen nedan

$$\text{Minskad kostnad elhandel} = \sum_0^{168} (\Delta\text{förbr}(t) * \text{spotpris}(t)) * \text{period} \quad (4.11)$$

där t representerar alla timvärden för förbrukning- och spotpris under den simulerade veckan. Dessa värden återfinns i Bilaga 1. Spotpris från 2012 är hämtat från Vattenfalls sida för historiska spotpriser. (Vattenfall, u.d.) Den minskade kostnaden delas sedan på antal V2H-kunder under nätstationen. Den minskade kostnaden för elhandel antas vara samma för V2H-kunderna i hela lokalnätet. I tabell 4.13 nedan redovisas de beräknade värdena för den minskade kostnaden för elhandel

**Tabell 4.13. Beräknade värden för minskad kostnad för elhandel**

<b>Minskad kostnad elhandel (SEK)</b>	48 600
<b>Minskad kostnad elhandel/kund (SEK)</b>	506

Till detta får kunden ett ekonomiskt värde genom att elnätsföretaget i viss mån ersätter inköpet av V2H-laddboxen. Hur stor del av denna summa som elnätsföretaget står för kan variera beroende på tjänstens upplägg. Detta kan antas vara ett erbjudande som tilltalar kunden som då får tillgång till en teknik som kan användas för övriga V2H-tjänster under de månader som inte täcks av elnätstjänsten. Mer om detta finns beskrivet i nästkommande avsnitt Paketering av tjänsten.

Utöver dessa ekonomiska värden finns dessutom ett emotionellt värde som är viktigt att belysa. Under de senaste åren har användandet av grön teknik och miljömedvetenhet ökat i status och ett ”hållbart tänkande” är något positivt i allmänhetens ögon. Nya begrepp så som ”planetskötare” och ”solfarmare” har börjat sprida sig, vilka båda är exempel på epitet som en klimatmedveten person finner värde i att tillskriva sig. Det går därför att se att det finns en drivkraft från en växande skara människor att vara medveten om, använda sig av och skylta med hållbara lösningar. V2H passar väl in i den teknikkategori som tilltalar denna grupp då den möjliggör att kundens redan miljövänliga bil också kan bli en del av en större systemnytta i ett smart elnät. Det är därför inte ett orimligt scenario att den värdegrundsbaserade och känslolstyrda aspekten av teknikens möjligheter bidrar till att fler kunder ansluter sig till tjänsten.

### ***Paketering av tjänsten***

Tjänsten kommer förslagsvis erbjudas till kunden genom olika ”abonnemang” representerade av olika grundvolymmer av tillgänglig batterikapacitet. Genom ett sådant avtal förbinder sig elbilsägaren att en viss volym av batteriet ska finnas tillgängligt för nätmässiga ändamål då bilen står inkopplad. De abonnemangsmodeller som erbjuds kommer vara utformade efter kundens olika körbehov. Skulle användaren under abonnemangsperioden vilja minska volymen som avsätts till nätet för att ett tillfälligt större körbehov har uppstått kan användaren enkelt justera detta i mobilapplikationen. Hur stor ersättning användaren får utöver de intjänade elkostnaderna då tjänsten är utformad enligt denna modell skulle på så sätt avgöras beroende på valt abonnemang och i vilken utsträckning avtalet frångås.

Hur ersättningen från nätägaren till kunden utformas är svårt att konkretisera. Detta beror på en rad olika faktorer som både omfattar regelmässiga hinder och verksamhetens monopolstruktur. Det som tjänsten utgår ifrån är att nätägaren står för det extra batterislitage som V2H styrningen orsakar samt ersätter en del av/hela den mellanskillnad som finns mellan en vanlig laddbox och en som är V2H-utrustad. Detta för att slå bort de ekonomiska hinder som skulle kunna förhindra att kunden deltar i tjänsten. Nedan följer tre olika tillvägagångssätt för hur elnätsföretagen skulle kunna erbjuda en ekonomisk ersättning för dessa poster till elbilsägaren. Under varje alternativ redovisas också eventuella hinder som skulle kunna uppstå sett ur dagens lagar och reglerverk. Dessa lagar och regelverk behandlas närmare i den teoretiska bakgrunden under delkapitlet 2.6.2 Lagstiftning som kan försvåra införande av energitjänster.

- Sänkt nätavgift

Nätägaren ersätter kunden genom att kostnaderna för både batterislitage och laddboxen täcks av sänkta nätavgifter för hushållets anslutning. Detta kan ske genom en kombination av minskad överföringsavgift och årsavgift.

Hinder: Detta alternativ riskerar att idag bryta mot ellagen när det kommer till prisdiskriminering inom ett nätområde. Enligt Ellagen 1997:857 4 kap. 1 § och Ellagen 1997:857 4 kap. 3 § ska nättariffer vara objektiva och icke-diskriminerande och inte påverkas av var inom området en anslutning är belägen.

Ersättningsalternativet med en sänkt nätavgift strider på så vis mot ellagen då de kunder som erbjuder en nättjänst via användningen av V2H därigenom skulle få en annan nättariff än den som gäller för övriga nätkunder i området.

- Engångsbetalning för laddinfrastruktur + hyra lagringskapacitet

Ersättning av kunden sker genom två kanaler. Dels att nätägaren betalar kunden för laddboxen vid inköpstillfället. I ett sådant scenario skulle distributören av tekniken direkt fakturera elnätsföretaget istället för att betalningen sker via kund. Summan skulle motsvara den del som elnätsägaren enligt överenskommelse ska stå för, vilket kan variera. Den andra delen av kundens ökade kostnader, batterislitage, kan istället täckas genom att en typ av teknikbaserat arrendeavtal mellan elnätsföretaget och kunden upprättas. Kunden hyr på så vis ut batterikapacitet till nätägaren för den tidsperiod som tjänsten avser.

Hinder: I detta fall riskeras lagen om användningen av energilager överskridas. Enligt dagens regelverk får elnätsföretagen äga energilager, men de får bara nyttjas vid nödfall. Till exempel om

det syftar till att täcka nätförluster eller ersätta el vid ett större elavbrott (Ellagen 1997:857 3 kap. 1 §).

- Kunden ses som leverantör av nättjänst

Detta alternativ förutsätter att kunden kan ses som två separata aktörer på elmarknaden. Den första, rollen som elnätkund, förblir oförändrad genom att årsavgiften och överföringsavgiften är densamma som för resterande nätkunder i området som ej erbjuder V2H-tjänsten. Lagen om diskriminering undviks då att överträdas. Den andra rollen som bilägaren då samtidigt intar är den som tjänsteleverantör. Genom att se kunden som en leverantör av en nätförstärkande tjänst kan en fakturering från kunden ske till elnätsägaren liknande det betalningssystem som idag används för att ersätta tjänsteföretag som anlitas för att genomföra olika underhållsarbeten av elnäten. Det pris som sätts för tjänsten ska motsvara både kostnaderna för laddboxen och batterislitaget.

Hinder: Det största hinder som kan uppstå för detta betalningsalternativ är att kunden kan behöva inta rollen som ett företag och på så vis också omfattas av den skattelagstiftning som gäller för en sådan verksamhet. Komplexiteten som nätägaren påträffar i de föregående alternativen förflyttas på så vis till kunden och kan därför leda till att avståndet för att bilägaren ska ansluta sig till tjänsten ökar.

### **Premie**

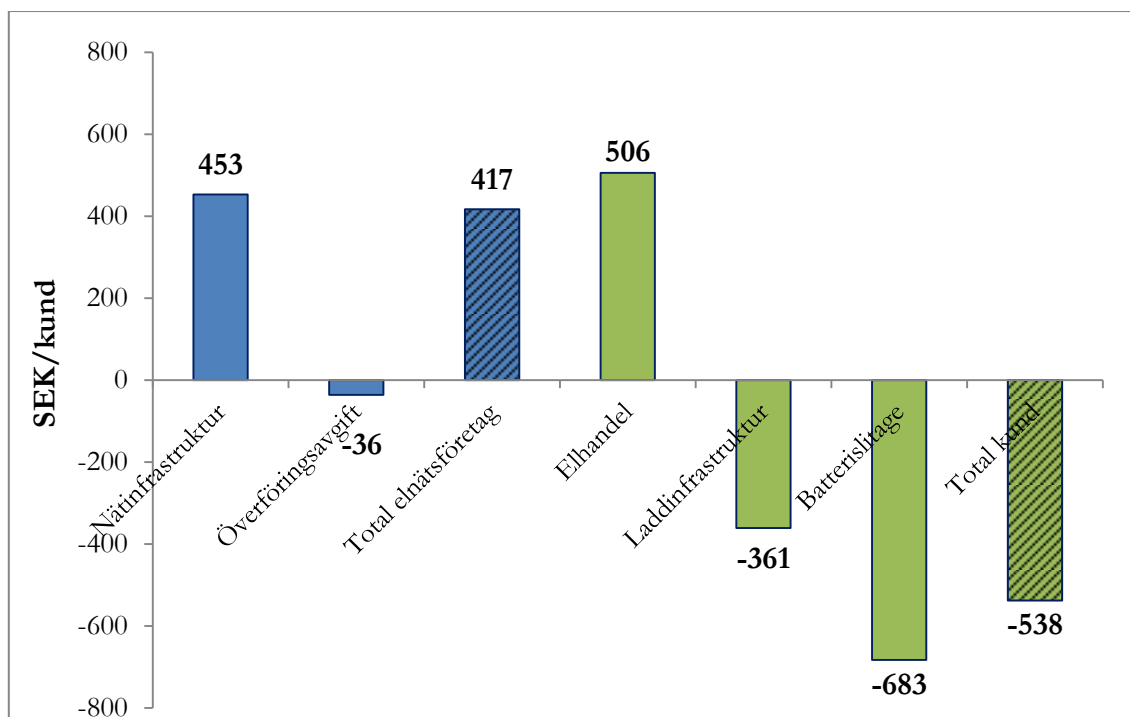
Den vinst elnätsföretaget kan tillgodogöra sig genom minskade kostnader kan användas till en premie till de kunder som ingår i V2H-energitjänsten. Premien kan betalas ut till V2H-kunderna enligt något av förslagen i delen om Paketering ovan. För att undvika att bryta mot diskrimineringslagen skulle vinsten även kunna delas ut på alla kunder i lokalnätet, då i form av en sänkt avgift. Detta kommer inte ges som ett förslag i affärsmodellen utan kommer enbart tas upp i diskussionen under delkapitel 6.2.2 Affärsmodellens utformning, hinder och möjligheter.

## 4.2 Ekonomisk utvärdering av affärsmodell

För att utvärdera de intäkter och kostnader som är kopplade till tjänsten sammanfattas dessa i diagram uppdelade i de två nivåerna Nätstation och Lokalnät. Posterna redovisas både för elnätsföretag och kund i samma diagram, elnätsföretagets staplar med blå färg och kundens staplar med grön färg. Alla kostnader och intäkter är redovisade per kund som i det föregående delkapitlet och för hela tjänsteperioden.

### 4.2.1 Nätstationsnivå

I figur 4.1 nedan visas resultatet på nätstationsnivå

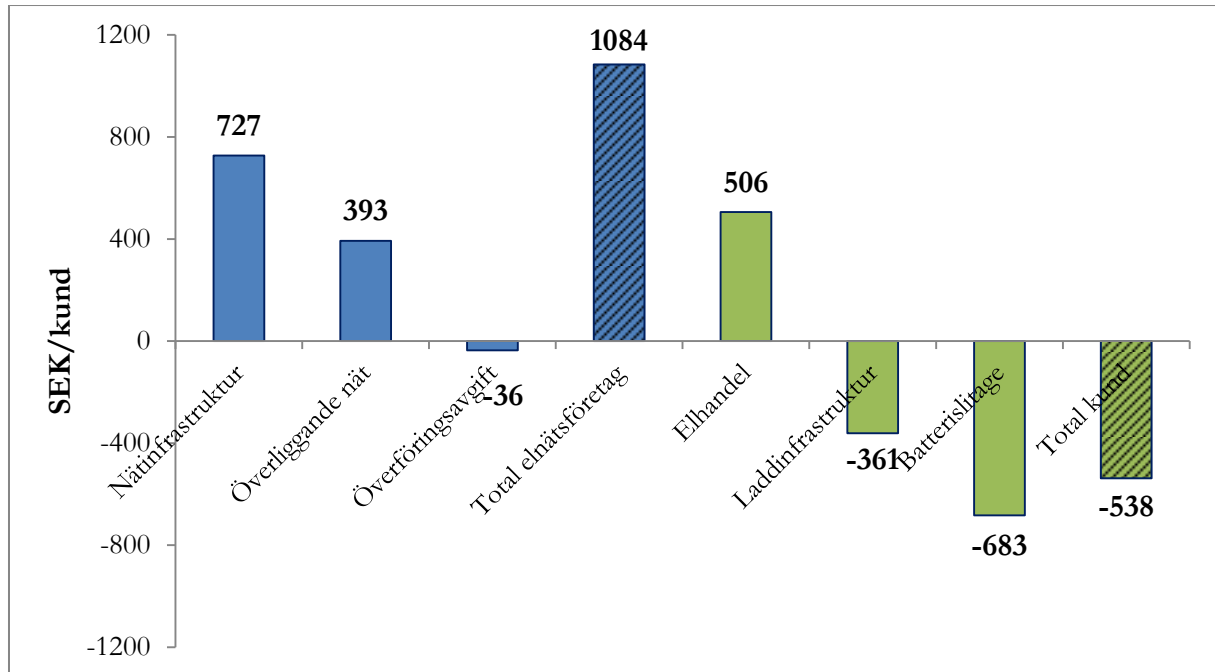


Figur 4.1. Ekonomiskt resultat för nätstation.

Som visas i figur 4.1 ovan går elnätsföretaget med vinst på 417 kr, men vinsten räcker ej för att betala tillbaka kundens ökade kostnader för batterislitage och laddinfrastruktur. Den största kostnadsposten för kunden är det ökade batterislitage som värderas till 683 kronor. Stapeln elhandel motsvarar den kostnadsminskning kunden kan tillgodogöra sig genom att ha timprissättning tillsammans med V2H-tjänsten.

## 4.2.2 Lokalnätetsnivå

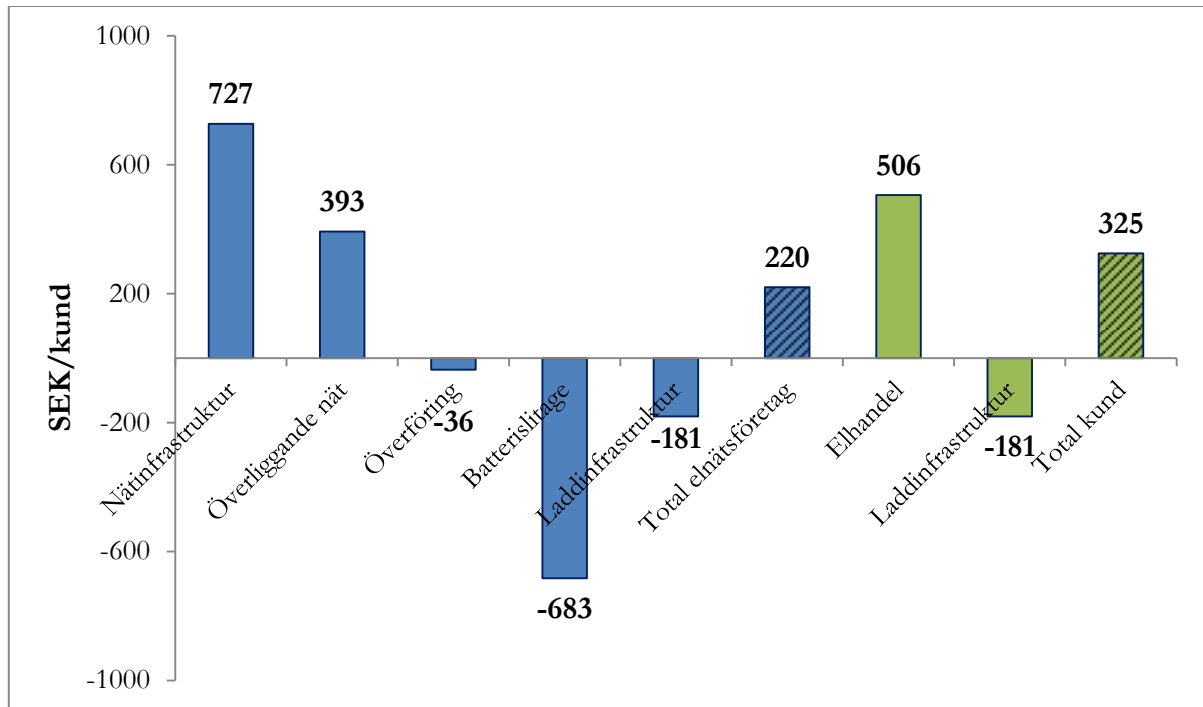
I figur 4.2 nedan redovisas resultatet för lokalnätetsnivå. Jämfört med nätstationsnivån tillkommer en positiv stapel för elnätsföretaget i form av en minskad kostnad mot överliggande nät



Figur 4.2 Ekonomiskt resultat för lokalnät

Som visas i figuren ovan är den totala kostnaden för kunden oförändrad. Elnätsföretaget har däremot en ökad vinst (1084 kr) jämfört med nätstationsnivån och har nu en större möjlighet att ersätta kunden.

Eftersom batterislitage är direkt kopplat till V2H-tjänsten bör elnätsföretaget stå för denna ökade kostnad för kunden. Den högre kostnaden för laddinfrastrukturen kan kunden nyttja för andra tjänster för V2H och därför anses ett alternativ då elnätsföretaget ersätter halva kostnaden för laddinfrastrukturen vara rimlig. I figur 4.3 visas detta resultat



Figur 4.3 Ekonomiskt resultat för lokalnät då elnätsföretaget ersätter kundens ökade kostnader för batterislitage och halva kostnaden för laddinfrastruktur.

Som visas i figuren ovan kommer kunden då tjäna 325 kronor och elnätsföretaget får en vinst på 220 kronor/kund.

De 220 kr som elnätsföretaget tjänar på minskade kostnader faller inom intäktsramen och kan antingen ses som en vinst genom en effektiv nätdrift, alternativt ska denna summa delas ut på kunderna. Detta diskuteras under delkapitel 6.2.2 Affärsmodellens utformning, hinder och möjligheter i diskussionskapitlet.

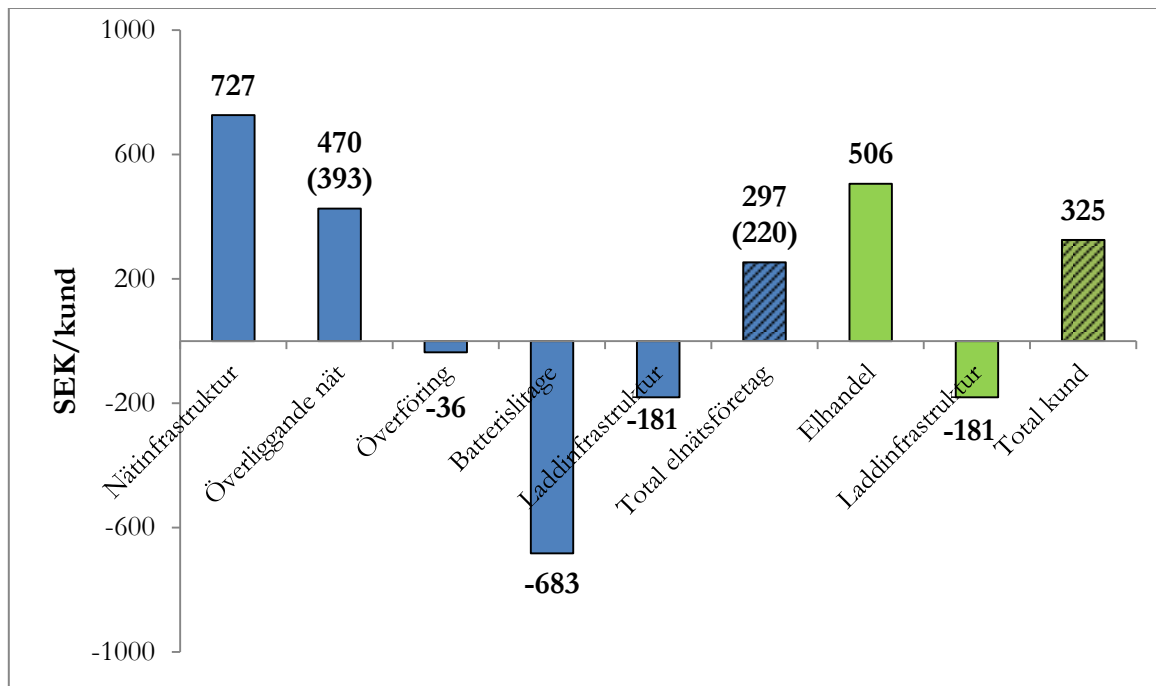
#### 4.2.3 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen väljs tre poster ut där värdet varieras med utgångspunkt i skillnader i vissa parametrar som förändrar de beräknade slutvärdena. De tre poster som valts ut är avgift mot överliggande nät, batterislitage och elhandel. De ursprungliga siffrorna för posterna redovisas inom parantes.

##### **Avgift mot överliggande nät**

I beräkningarna för avgift mot överliggande nät användes i de tidigare beräkningarna en avgift på 167 kr/kW, vilken var avgiften år 2012 som är det år indata till simuleringarna berör. Denna avgift är år 2017 bestämd till en högre summa på 181 kr/kW. Med en ändrad avgift till 2017 års nivå ges ett resultat enligt figur 4.4 nedan



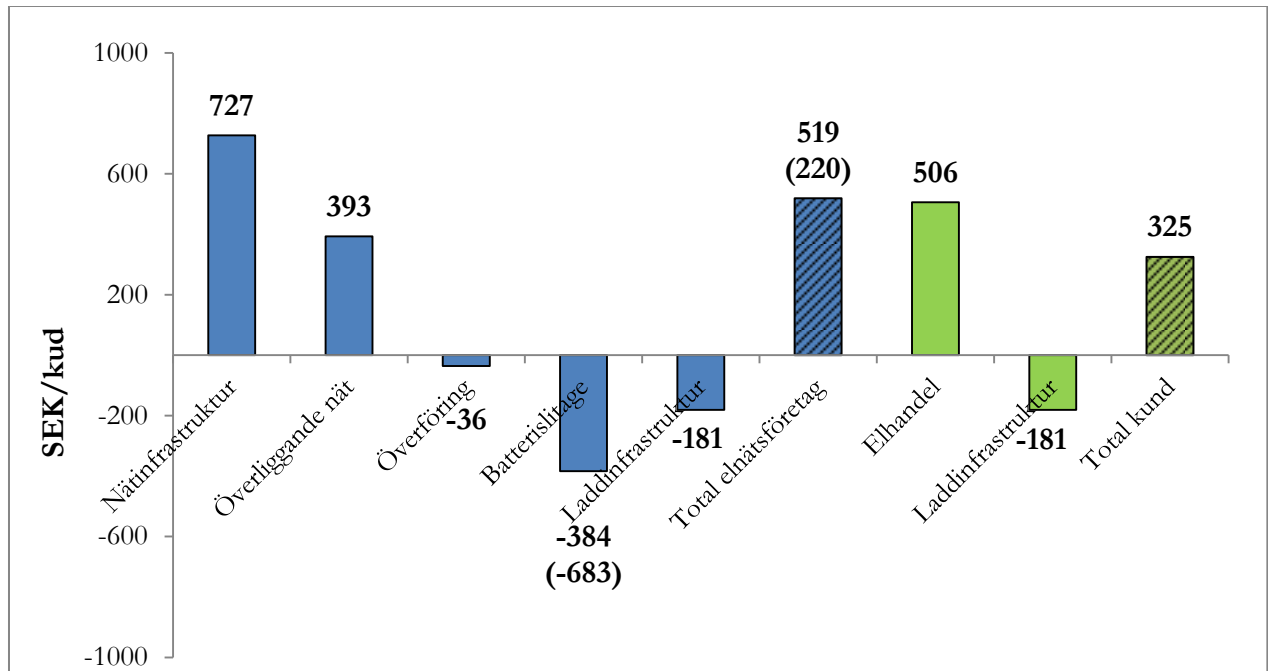


Figur 4.4 Ekonomiskt resultat vid en högre avgiftkostnad mot överliggande nät

Enligt figur 4.4 ovan ger en ändring av avgiften en minskad kostnad för elnätsföretaget för överliggande nät på 470 kronor/kund och en ökad vinst till följd av minskade kostnader på 297 kronor/kund jämfört med tidigare 220 kronor/kund.

### Batterislitage

Posten kostnad för batterislitage är en av de största och mest osäkra i beräkningarna. Eftersom tekniken inte är kommersiell i dagsläget är det en svårighet att kvantifiera det batterislitage som tjänsten skulle innebära. Från samma rapport som de tidigare beräknade värdena utgår från finns olika scenarier för elbilsnättjänster. Ett av scenarierna i rapporten berör effektreducering men under en något kortare tidsperiod än denna tjänst, som ger ett batterislitage på 0,0019 % per tillfälle vid laddning med 1,44 kW och 0,0041 % slitage vid laddning med 7,2 kW. På samma sätt som tidigare räknas av dessa värden en kostnad fram för batterislitaget (se ekv 4.9 och 4.10). Detta resultat visas i figur 4.5 nedan

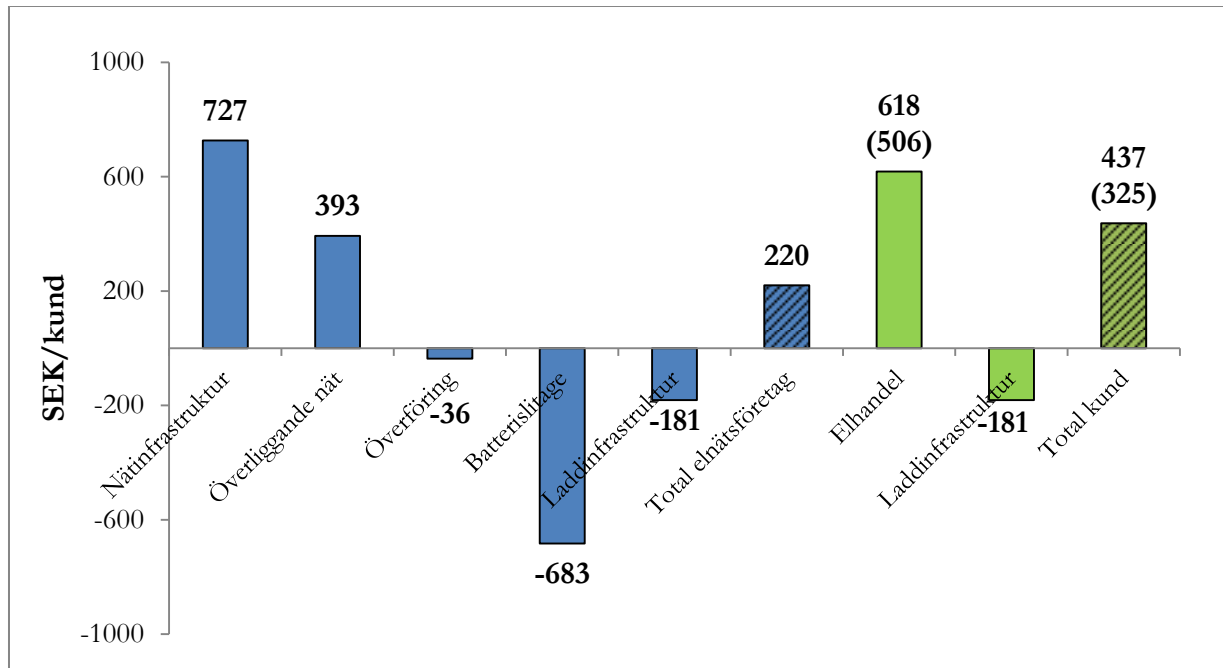


Figur 4.5 Ekonomiskt resultat vid minskad kostnad för batterislitage

Enligt figur 4.5 ovan ger en ändring av kostnaden för batterislitage en stor förändring i den totala kostnadsminskningen för elnätsföretaget som ökar från 220 kronor/kund till 519 kronor/kund.

### Elhandel

Den minskade kostnaden för elhandel för kunden genom att kombinera V2H-energitjänsten med timprisavtal för elhandel är baserad på Spot-pris för den simulerade veckan år 2012. Enligt Bixia spås en höjning av spot-priset till 40 öre/kWh år 2030 som är baserad på en situation med minskad kärnkraft och ökad import av el. Det spås även större Spot-variationer under dygnet. (Bixia, 2015). År 2012 var det genomsnittliga spot-priset enligt Fortum (2016) 32,72 öre/kWh. Detta ger en ökning av spotpriset med 22 % till 2030 enligt ovanstående. Detta ger en minskad kostnad för elhandel för kunden som visas i figur 4.6 nedan



Figur 4.6 Ekonomiskt resultat vid ett högre spot-pris för elhandel

Kostnaden för elhandel minskar med 618 kronor jämfört med tidigare 506 kronor vilket ger ett ökat total värde för kunden på 437 kronor mot tidigare 325 kronor.

### 4.3. Summering av affärsmodell för V2H energitjänst

Nedan följer en kort sammanfattning av de viktigaste delarna för den skapade affärsmodellen.

- Endast de fyra blocken kundsegment, intäkter, kostnader och värdeerbjudande från BMC-modellen har valts ut och behandlats i kapitlet.
- Beräkningarna bygger på nätsimuleringsresultatet och skalas utifrån dessa även upp till lokalnätetsnivå.
- Tre förslag på paketering ges;
  - Kunden får ersättning genom minskad nätavgift.
  - Elnätsföretaget hyr batterikapacitet av kunden under tjänstperioden och ersätter kostnad för laddinfrastruktur genom direkt betalning till bilhandlare eller försäljare av laddinfrastruktur.
  - Kunden ses som en underleverantör av en nättjänst och ersätts likt andra underleverantörer.

Med utgångspunkt i dagens lagstiftning kräver alla ovanstående förslag någon form av regelförändring.

- Den minskade kostnaden för nätförluster blev så liten att den kunde försummas ur det ekonomiska resultatet.

- Vinsten i form av minskade kostnader för elnätsföretaget blir tillräckligt stor först på lokalnätetsnivå.
- På lokalnätetsnivå då elnätsföretaget ersätter kundens kostnad för batterislitage och halva kostnaden för V2H laddinfrastruktur får elnätsföretaget en vinst på 220 kr och kunden en vinst på 325 kr.
- Batterslitage är en stor och avgörande kostnad som dessutom är osäker i dagsläget. Enligt resultat i känslighetsanalysen bidrar förändringar av denna kostnadspost enligt olika scenarier till stora förändringar av resultatet.

## 5. Utvärdering av V2H

*I detta kapitel utvärderas V2H och de användningsområden som tjänsten erbjuder. Genom att utvärdera tekniken med hjälp av två SWOT-analyser besvaras frågor angående dess styrkor och svagheter samt identifieras externa möjligheter och hot för dess införande. Anledningen till att två analyser genomförs är för att utvärdera tekniken ur flera perspektiv. Dels fallet då V2H används som effektreducerande tjänst för ett lokalnät men också analyseras V2H som koncept med alla de användningsområden som konceptet medför. Avsnittet avslutas sedan med att en hållbarhetsanalys genomförs då tekniken utvärderas ur tre perspektiv - ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet.*

### 5.1 SWOT-analys

I följande avsnitt utvärderas V2H med hjälp av två SWOT-analyser. Den första visas i figur 5.1 och utgår från det användningsområde som undersökts närmare i denna rapport, nämligen en effektreducerande energitjänst. Den senare som går att se i figur 5.2 analyserar tekniken som koncept och inkluderar därav också andra V2H-tjänster. Efter respektive diagram följer en beskrivning av de viktigaste punkterna från analysen.

## 5.1.1. SWOT: V2H för effektreducering



Figur 5.1 SWOT-analys av V2H som effektreducerande teknik

En av V2H-teknikens största styrkor när det kommer till användningsområdet för att minska effekttoppar i elnätet är det faktum att befintlig teknik används för att förstärka nätet. I de två föregående kapitlen har det framgått att vid en tillräckligt stor elbilsflotta är behovet av nätförstärkande åtgärder oundvikliga vilket också medför kostnader för nätägaren. Genom att istället använda elbilen som lösning till den problematik som elektrifieringen bidragit till kan en mer effektiv hantering av problemet erbjudas. Ytterligare en styrka som tekniken har när det kommer till effektreducering är att den till skillnad från andra V2H-applikationer garanterar att en minskning av de högsta effekttopparna sker. Detta skulle också kunna inträffa om man reglerade batteriernas dubbelriktade flöden efter elpriset men det är ingen garanti att elpriset varierar med de högsta effekttopparna i en specifik nätstation även om så mycket väl skulle kunna vara fallet.

En reglering som uteslutande styr efter effektnivåerna garanterar dock att de högsta topparna jämnas ut.

I jämförelse med andra tekniker som syftar till att jämna ut hushållens last påverkar inte V2H kundens inomhuskomfort. Till exempel finns det tekniker som bygger på att reglera husens inomhustemperatur och hushållsmaskiner för att parera effekttoppar men genom att använda elbilen kan detta undvikas och samtidigt nå jämförbara resultat. Dessutom kan V2H till skillnad från ”vanlig” laststyrning också innebära att hushållets grundlast exklusive elbilen sänks.

Det finns dock några brister hos tekniken. Ett exempel är att den orsakar ett relativt stort slitage på batteriet i jämförelse med både andra V2H-tjänster och bilens ordinarie körmonster. Anledningen till detta är att effektreduceringen ger upphov till djupare urladdningar, en lägre SOC, vilket påverkar batteriets livslängd negativt. Detta riskerar också att inskränka på kundens flexibilitet då körbarheterna i vissa tidpunkter minskas. Dock är det viktigt att komma ihåg att detta skulle kunna minskas genom att användaren själv väljer en lägsta tillåten SOC-nivå som får nås då bilen förser huset med energi. Detta skulle i stället leda till att tjänstens nytta minskas till förmån för batteriet. Det hela resulterar i en avvägning som kunden och nätägaren måste ta ställning till och avgöra vilken nytta som väger tyngst.

Som en följd av de positiva egenskaper som tekniken har, garantin om minskning av de högsta effekttopparna, uppstår också en nackdel ur bilägarens perspektiv. Då V2H-styrningen regleras enligt detta mönster är den inte fullt ut optimerad för största ekonomiska vinst för kunden eftersom den ej styrs efter elpriset.

Det kan argumenteras att tjänsten också skulle vara svår att implementera för ett enskilt nätföretag då det enligt den genomförda studien visar på svårigheter att hitta lönsamhet. Skulle istället tjänsten utformas genom att flera aktörer tar en del av den skulle kostnaderna kunna omfördelas och vinsten öka. Detta bygger dock på att ett relativt komplext nätverk utformas som sträcker sig utanför dagens elnätverksamhet.

Det finns ett antal utomstående faktorer som skulle kunna komma att påverka tjänsten i antingen positiv eller negativ riktning. Exempel på hot mot V2H-tjänsten skulle kunna vara om elprissättningen ändrades från att prissätta energi till att istället värdera effekt. I ett sådant läge skulle tjänstens syfte undermineras och ett mer gynnsamt användningsområde för både kund och nätägare skulle vara att reglera batteriet efter rådande effektpris. Det är viktigt att poängtera att ett sådant scenario inte skulle slå mot V2H som koncept, vilket kommer tas upp i nästkommande stycke. Två andra aspekter som skulle kunna påverka tjänsten negativt är antingen att nätet förstärks eller att belastningen minskar. Det sistnämnda skulle till exempel kunna inträffa som en följd av att hushållen uppvärmningssystem skiftades till fjärrvärme som ej är beroende av el. I båda dessa fall skulle tjänstens nytta minskas drastiskt och andra V2H-tjänster skulle framstå som mer attraktiva alternativ.

Något som istället skulle kunna stärka behovet och nyttan i tjänsten är om kundens makt på elmarknaden ökar och mer ansvar läggs på användaren. Om nätets belastning samtidigt ökade skulle behovet av effektreducerande tjänster växa, bland annat användandet av effektstyrda V2H-lösningar.

### 5.1.2 SWOT: V2H-konceptet



Figur 5.2 SWOT-analys av V2H som koncept

En framträdande styrka som V2H-konceptet erbjuder är att en helt ny tjänsteportfolio för elbilar skapas. Tekniken möjliggör att elbilen kan nyttjas i allt högre grad än vad den gör då enbart transportbehov ska tillgodoses och skapar samtidigt en plattform för externa aktörer att dra nytta av bilens egenskaper. Ur ett kundperspektiv innebär det att flera energitjänster som gynnar såväl den egna ekonomin som klimatet kan tillgodoses med ett redan befintligt energilagrar. Att bilen också är kopplad till det egna hemmet gör att nyttan synliggörs för kunden i större utsträckning än till exempel V2G, vars nytta först blir synlig på systemnivå, vilket kan öka kundens vilja att införskaffa tekniken. Det kan därför antas vara ett första steg eller en inkörspport till mer avancerade smarta laddningsalternativ vars nytta ligger längre ifrån den enskilda kunden.



En viktig styrka som tekniken har ur ett nätperspektiv är att den, beroende på användningsområde, på ett eller flera sätt kan bidra med nytta till nätet och i förlängningen ersätta nättåtgärder som annars skulle anses nödvändiga. Ytterligare en styrka är att bilens batteri, efter det att det inte längre lever upp till kraven som transportbehovet ställer, kan användas som ett stationärt energilagring vid hushållet. Detta är en lösning på en av de svagheter som ofta förknippas med smarta laddningsalternativ, nämligen att bilen inte alltid är närvarande. Det kan mycket väl vara i de situationer som bilarna ej är inkopplade som behovet av deras alternativa tjänst är som störst. I dessa fall kan V2H inte konkurrera med ett stationärt energilagring. Dock finns det också nytta med att ha ett mobilt energilagring då flera anslutningspunkter för både laddning och urladdning kan kopplas till batteriet. Dock medför detta ett behov av ett mer komplext nätverk av aktörer för att samhället och bilägaren ska kunna tillgodogöra sig teknikens fulla potential. Ytterligare en svaghet är att tekniken kommer medföra ett visst batterislitage. Hur stort detta är varierar dock beroende på användningsområde.

Vad som dock kommer vara avgörande för V2H-teknikens framtid är snarare omkringliggande faktorer. Skulle elektrifieringen av transportsektorn ta en helt annan väg än den som idag förutspås och istället styra mer mot elvägar kan det slå mot tekniken. Eftersom elvägar möjliggör att elbilen kan färdas långa sträckor utan att batterikapaciteten höjs skulle en sådan utveckling riskera att batterierna istället minskade sin kapacitet, något som direkt försvårar för V2H tekniken där storleken på energilagret är avgörande. Något som också skulle kunna slå mot tekniken är om den politiska viljan att förändra transportsektorn skulle minska och eventuella styrmedel likt investeringsstöd/miljöbilspremier försvinner vilket skulle innebära att färre elfordon fanns i drift. Även regleringar och lagar inom elverksamheten skulle kunna skapa hinder för nya energitjänster med V2H då helt nya aktörer, nätverk och affärsmodeller är nödvändigt för tjänsternas utformning.

Ytterligare en aspekt som är positiv för V2H är att prognoserna för transport- och elnätutvecklingen snarare går i en mer gynnsam riktning. Som redan omnämnts i rapportens teoretiska bakgrund kommer elbilsutvecklingen de närmsta åren genomgå en stor utveckling på flera områden. Antalet fordon förväntas öka, bilpriserna minska och batterikapaciteten öka. Samtidigt väntas elnätverksamheten bredda sin verksamhet till att också erbjuda energitjänster och smarta elnät. Något som skulle gynna utvecklingen av V2H och liknande laddningstekniker. Att elhandelsföretagen samtidigt undersöker en ny elprissättning i form av effektpris stärker också de nytta som teknikens olika användningsområden erbjuder både elkunden och nätet.

### 5.2 Hållbarhetsanalys

#### 5.2.1 Miljömässig hållbarhet

V2H medför flera miljömässiga fördelar. En av de främsta egenskaperna som tekniken besitter är att den möjliggör ett effektivt nyttjande av befintliga resurser. Istället för att ett hushåll som önskar komplettera bostaden med ett energilagrar köper en helt ny batterienhet kan istället batteriet i elbilen användas. Av samma anledning hittas också nya nyttor för bilen som annars uteslutande varit dedikerad till att tillgodose transportbehov.

Genom att användandet av V2H syftar till att sänka effektbehovet i näten bidrar tekniken i förlängningen till en minskad elproduktion från reservkraft. Därigenom skulle även utvinningen av fossila naturtillgångar minska. Utöver detta innebär tekniken också att mikroproduktion kan användas mer energieffektivt och på så vis öka incitamenten för privatpersoner att använda sig av sådana energislag.

Dessutom bereder tekniken väg för att kunna förverkliga en större eldriven fordonsflotta vilket skulle ha en positiv inverkan på transportsektorns totala utsläpp. Detta är dock en aspekt som också medför miljömässiga nackdelar. Genom att antalet elbilar växer och dessutom utnyttjar en teknik som har en negativ påverkan på batteriernas livslängd ökar efterfrågan på batterier. Trots att litium är en relativt vanlig metall kan en ökad användning leda till sinande tillgångar och att mer extrema metoder för utvinning tvingas fram. Den litiumbrytning som är kommersiell idag medför stor lokal miljöpåverkan liknande den som förknippas med övrig gruvdrift. En mer extrem metod som eventuellt skulle bli aktuell är möjligheten att utvinna metallen ur havsvatten vilket skulle öka vidden av utvinningens miljöpåverkan (Naturskyddsföreningen, 2016).

Sett ur ett annat perspektiv kan V2H däremot öppna upp för nya användningsområden för elbilsbatterier som inte längre lever upp till de kapacitetskrav som transportändamål kräver. Likt beskrivet i den teoretiska bakgrunden anses ett bilbatteri som nått 70 procent av dess initiala kapacitet vara förbrukat och bör återvinnas. Detta är dock tillräcklig kapacitet för att fortsätta regleringen av hushållets elförbrukning som ett stationärt batteri eller för användning som energilagrar i lokalnäten.

#### 5.2.2 Social hållbarhet

Med V2H följer två aspekter som har tydligt avtryck på teknikens sociala hållbarhet. Den första, vilken ej talar till teknikens fördel, är att konceptet bygger på en ökad informationsspridning och övervakning av elbilsägaren. Information om kundens körvanor, elförbrukning och tid vid hemmet är nödvändigt för att tekniken ska fungera vilket kan anses ha för stor påverkan på den personliga integriteten. Den andra aspekten kan anses mer fördelaktig då V2H möjliggör att kunden får ett ökat inflytande över både den egna elanvändningen men också elmarknaden ur ett bredare perspektiv.

### 5.2.3 Ekonomisk hållbarhet

En viktig hållbarhetsaspekt som kan kopplas till V2H är de affärsmöjligheter som tekniken banar väg för. Sett ur ett ekonomiskt perspektiv innebär detta inte bara en bredare produktionssektor inom eldrift utan också att en helt ny tjänstesektor inom smarta laddningslösningar skapas. Som beskrivet i rapportens inledande del anses V2H vara ett första steg mot mer avancerade system som har potential att utgöra ett helt nytt marknadsområde inom såväl eldistribution som transport.

## 6. Diskussion

*I denna avslutande del av rapporten genomförs en utförlig diskussion över det resultat som studien har utmynnat i. I det första delkapitlet förs diskussion kring nätanalysen och den utförda nätsimuleringen i kapitel 3. Därefter följer två delkapitel som analyserar den framtagna affärsmodellen i kapitel 4 och för en diskussion kring alternativa utformningar, hinder och möjligheter med grund i det som presenteras i den teoretiska bakgrunden. I de tre följande delkapitlen diskuteras och problematiseras elnätsägarens roll i tjänsten, drivkrafter för kunden och elnätet samt teknikens framtidsutsikter.*

### 6.1 Nätanalys

I resultatet av de genomförda simuleringarna går det att utläsa att V2H-tekniken innebär en minskad belastning på lokalnätet jämfört med elbilar utan reglerad laddning. Detta oavsett vilken elbilsvolym som studeras även om potentialen i tekniken växte med antalet bilar. Dock innebär användningen av tekniken inte att belastningar över 0,8 MW undviks vilket ur ett nätperspektiv varit önskvärt. Det är viktigt att påpeka att grundlasten utan elbilar även överskred denna effektgräns och att i ett fall då nätstationen hade en lägre belastning skulle även V2H-laddade elbilar potentiellt kunna rymmas under denna nivå. Däremot går det från de studerade fallen att konstatera att V2H-scenariot inte överskred den maximalt tillåtna belastningen 1 MVA då 80 procent elbilar antogs till skillnad från då elbilar utan styrning studerades. Detta gjorde att fallen skildes åt när det kom till behov av nätförstärkning.

Även vid mindre volym elbilar tenderade belastningen bli tillräckligt stor för att motivera att någon nätförstärkande åtgärd genomfördes. Framst i fallet då antalet elbilar var 40 procent och dessutom snabbaddades. Detta kan dock antas vara ett mindre sannolikt scenario då behovet av snabbaddning oftast ej är stort vid det egna hemmet.

Genom detta resonemang kan det konstateras att V2H-laddning först blir aktuell vid högre elbilsvolymer. I alla fall då tekniken används i syfte att minska belastningen i elnäten. Detta gäller inte i fall då enbart det enskilda hushållet betraktas eller de övriga V2H tjänsterna som berörts i rapporten. Dessa skulle kunna erbjuda vinster för bilägaren oberoende nätets belastning.

När det kommer till effektflödena i ledningar framgår det av resultatet att problem uppstår i samtliga fall, inklusive grundfallet som inte innefattar några elbilar. Dock ökar problematiken likt tidigare i fallet då V2H används för att sedan kulminera i G2-fallet med okontrollerad laddning. Det är därför rimligt att anta att någon typ av förstärkning av ledningarna också behöver genomföras, framförallt i G2-fallet, men bör även övervägas för V2H-scenariot och grundlasten. Skulle det enbart behövas då ingen reglering sker kan även denna uteblivna kostnad tillgodoräknas i affärsmodellen.

I och med att ledningarna i sitt nuvarande skick redan överskrider den maximala gränsen av tillåten belastning är det rimligt att anta att problematiska belastningsnivåer uppstår redan vid mindre elbilsvolymer än de som undersökts i rapporten. Viktigt att komma ihåg är att detta enbart beskriver läget i Danderyd och inte nödvändigtvis andra nätstationer vars transformator är överbelastad. Det är inte ett ekvivalent samband mellan en hög belastning på transformator och överbelastningar i ledningarna.

När det kommer till spänningar vid anslutningspunkterna visar resultatet att ett otillåtet stort spänningsfall sker i fallet G2 med okontrollerad laddning. Även om detta bara sker i en av radialerna är spänningsnivån i de övriga ledningarna relativt nära denna gräns i samma elbilsscenario. Detta motiverar att spänningshöjande åtgärder genomförs. Till exempel skulle det i ett sådant fall vara motiverat att transformatorns lindningsvarv förändras med hjälp av en lindningskopplare. Skulle problematiken kvarstå krävs det att mer omfattande åtgärder vidtas.

De genomförda simuleringarna grundar sig på ett antal antaganden och förenklingar vilket gör att det inte fullt ut överensstämmer med ett verkligt scenario. För det första utgår beräkningarna från att bilarna lämnar och ankommer till hushållen vid samma tidpunkt. Vid första anblick kan detta tyckas vara ett för grovt antagande men eftersom studien bygger på en jämförelse mellan två olika laddningstekniker skapas en mer rättvis jämförelse av dessa om de båda utgår från samma ankomst- och avgångstider. Skulle bilarna slumpvis ha lämnat och ankommit till huset hade det försvårat möjligheterna att utläsa bidraget från laddningen i sig. Detta antagande fungerar dock enbart vid en jämförande studie. Skulle teknikerna enskilt ha utvärderats hade det sannolikt varit för grovt.

En annan aspekt som skulle kunna skilja simuleringarna från en verklig implementering är att i de genomförda beräkningarna styr elbilsbatterierna efter det egna hushållets last. I ett verkligt fall är det möjligt att V2H styrningen dessutom regleras över den totalt sammanlagrade lasten i nätstationen. Detta är dock inte nödvändigt och den implementerade regleringen fyller också samma syfte sett till nätstationens last. Resultatet bekräftar också att förenklingen inte hindrade en minskning av effekttopparna och det var rimligt att utgå från att hushållens enskilda lasttoppar i viss mån sammanföll med omgivningens. Det finns däremot möjligheter att resultat skulle kunna förbättras ytterligare sett till effektutjämning om den mer förfinade regleringen används.

## 6.2 Affärsmodellen

### 6.2.1 Antaganden, beräkningar och resultat för affärsmodellen

Den affärsmodell som är framtagen på nätstations- och lokalnätetsnivå visar att energitjänsten är lönsam först vid ett högre antal kunder då elnätsföretaget kan tillgodogöra sig den minskade kostnaden för avgiften mot överliggande nät. I det simulerade fallet är alla kunder lokaliserade under samma lokalnät, vilket troligen inte behöver vara fallet för att få en tillräckligt stor kostnadsänkning för att implementera tjänsten. Om tekniken koncentreras i områden med särskilt högt belastade nätstationer och kommer upp i samma volymer som det simulerade fallet kan den minskade kostnaden mot överliggande nät antagligen tillgodoräknas, fast under olika avräkningspunkter.

I figur 4.3 presenteras det förslag då elnätsföretaget ersätter kundens ökade kostnader för batterislitage och hälften av kostnaden för V2H-laddinfrastruktur. Detta förslag ger elnätsföretaget en vinst på 220 kronor och kunden en vinst på 325 kronor. De faktiska siffrorna som presenteras i affärsmodellen är hypotetiska och är framräknade med hjälp av antaganden och generaliseringar. Det faktum att energitjänsten bygger på ett framtidsscenario runt år 2030 gör det svårt att kunna göra annat än att spekulera med hjälp av forskningsrapporter och framtidsprognoser. Detta försvårar även resonemangen kring vilken storleksordning som ersättningen till kund ska ha, då man inte fullt ut kan lita på de siffrorna som räknats fram. Det som blir viktigt är istället att fokusera på analysen kring de olika möjligheter och hinder som tekniken medför.

De poster i affärsmodellen som bedöms vara mest osäkra är kostnaden för batterislitage och den minskade kostnaden för elhandel. Båda dessa poster ingår i känslighetsanalysen under delkapitel 4.2.3, som visar att förändringar i beräkningarna av dessa värden gör stort utslag på resultatet. Kostnaden för batterislitage till följd av ett ökat antal upp- och urladdningar har visat sig vara hög enligt studier som genomförts på ämnet. Dock har elbilstillverkare som medverkar i V2G-projekt inte förändrat garantin på elbilsbatteriet vilket tyder på att de inte spår en extrem ökning av slitaget. Osäkerheten kring batterislitages storlek kommer antagligen inte klargöras förrän mer forskning och utvärdering av pilotprojekt har utförts. Den minskade kostnaden till följd av variationer i Spot-priset är också en osäker post. Det är svårt att förutspå hur spot-priset kommer variera 15 år framåt i tiden och med en stundande omställning av energisystemet mot allt mer förnybar och varierande elproduktion.

Simuleringarna är endast utförda för en vintervecka men resultaten är uppskalade till en period på 13 veckor. Anledningen till att simuleringen inte är utförd för hela perioden är att under de omkringliggande månaderna låg dygnstemperaturerna ofta en bra bit över det historiska genomsnittet, vilket tyder på att vintern 2012 var varmare än normalt. Eftersom tjänsten grundas på att användas vid den höga belastningen som sker till följd av ökad elanvändning för uppvärmning under de kalla vintermånaderna hade därmed resultatet

antagligen blivit missvisande om hela perioden simulerats. Dock kommer varmare perioder inträffa under en 13-veckorsperiod, vilket på grund av ovanstående inte speglas i de utförda beräkningarna. Ett möjligt scenario för vissa nät skulle säkerligen kunna vara att V2H-styrning endast är nödvändigt under extremtillfällen några gånger om året. Om möjligheten att påverka tjänsteperioden för olika näts behov kan förverkligas ger det fördelar för tjänsten då den kan erbjudas till fler kunder i olika format.

Posten minskad kostnad mot överliggande nät är den post som tillkommer på lokalnätetsnivå. I det simulerade fallet ägs lokalnätet av E.ON Elnät och det överliggande regionnätet av Vattenfall. De stora elnätsföretagen äger i vissa fall både lokalnät och överliggande nät, och då tillfaller kostnaden samma företag, vilket skulle göra att man behöver räkna bort denna post i de fallen där lokal- och överliggande regionnät har samma ägare. Dock kan man resonera kring att den minskade kostnaden följer med ytterligare en nivå, eftersom uttaget från stamnätet som ägs av Svenska kraftnät också borde minska.

Posten nätförluster beräknades minska med 30 kWh från G2-fallet med okontrollerad laddning till V2H-fallet. Denna summa visade sig vara försumbar för affärsmodellen ur ekonomisk synvinkel. Det ska dock klargöras att en sådan minskning av förluster i ett stort antal nätstationer summeras ihop till en stor sammanlagd energimängd, vilket såklart är fördelaktigt ur resurssynpunkt.

### 6.2.2 Affärsmodellens utformning, hinder och möjligheter

Erbjudandet till kund innehåller ersättning för det ökade batterislitaget som kan kopplas till tjänsten, samt i det givna förslaget en ersättning för hälften av den ökade kostnaden för laddinfrastrukturen med V2H-teknik. Tillsammans med dessa ekonomiska ersättningar ska även en premie i någon form betalas ut till kunden för dess medverkan i energitjänsten. De tre förslagen för hur dessa ska betalas ut stöter alla på problem i den nuvarande lagstiftningen; dels kring att diskriminering av kunder inom samma område ej får ske samt att elnätsföretag inte får äga energilagrar för andra ändamål än för att täcka nätförluster. Det behövs alltså någon typ av ändring eller tillägg i den nuvarande lagstiftningen för att tjänsten ska kunna erbjudas kunden. Det ska dock poängteras att många prognoser visar att utvecklingen går mot ett mer användarstyrt elsystem och en utveckling av energitjänstemarknaden. Ska elnätsföretagen delta i denna utveckling kommer en tjänst som denna troligen inte vara ensam om att behöva ändringar i lagstiftningen för att kunna implementeras.

Den summa som elnätsföretaget kan tillgodogöra sig genom minskade kostnader skulle kunna ses som en vinst för elnätsföretaget till följd av näteffektivisering. Ett annat alternativ skulle kunna vara att vinsten eller delar av vinsten delas ut på de kunder som ingått tjänsten. En annan möjlighet är att vinsten delas ut på alla kunder inom det berörda området genom en minskning av elnätsavgiften. Med detta förslag gynnas alla kunder av energitjänsten och problemet med diskriminering blir något mindre markant än i det andra

förslaget där vinsten delas ut endast till de kunder som deltar i tjänsten. Om vinsten delas ut på enbart de kunder som ingått tjänsten skulle man dock kunna se det ur synvinkeln att alla kunder inom området kommer slippa en höjning av avgiften, och därför ändå gynnas av tjänsten.

Med utvecklingen mot en ny typ av elmarknad diskuteras nya konstellationer för aktörerna på elmarknaden. Ett förslag som berörts i den teoretiska bakgrunden under delkapitel 2.5.2 Framtidens elmarknad, är att en elhandlarcentrisk roll ska införas, där elhandelsföretaget är den enda aktör som ska ha kontakt med kunden och övriga aktörer, som elnätsföretaget, kommunicerar med kunden genom elhandelföretaget. En övergång till en elhandlarcentrisk elmarknad skulle innebära att en V2H-energitjänst skulle erbjudas kunden genom elhandelsföretaget. En fördel med detta skulle vara att tjänsten då skulle kunna kombineras med övriga erbjudande för V2H-teknik, som till exempel användning av tekniken för optimering mot spot-priset eller som lagringsmöjlighet för mikroproduktion under de tidpunkter V2H-tekniken inte används som en elnätsjänst för att styra undan effekttoppar. Kostnaderna skulle då kunna delas mellan två aktörer och paketeringen skulle antagligen kunna förmedla ett större värde till kunden. Elhandelsföretagen har även mycket större möjligheter till kundkommunikation jämfört med elnätsföretagen som idag i princip helt saknar distributionskanaler för att kommunicera denna typ av tjänster och värdeerbjudanden. En nackdel för elnätsföretaget skulle dock kunna vara att den som aktör har mindre inflytande över tjänstens utformning då elnätsägaren antagligen skulle ses som ”underleverantör” av ett tjänsteförslag som sedan paketeras och förmedlas till kund genom elnätsföretaget.

### 6.3 Roller, aktörer och drivkrafter för energitjänsten

#### 6.3.1 Elnätsägarens roll

I detta arbete har elnätsägaren stått i centrum som den drivande aktören för den aktuella V2H-tjänsten. Detta är ett nytt koncept om man ser till de befintliga V2H-tjänsterna som erbjuds elbilsägare i dag. I den teoretiska bakgrunden presenterades flera olika användningsområden för tekniken varav några redan existerar på marknaden. I dessa fall är det elbilstillverkaren som riktar sig till kunden och inte elnätsföretaget. Vad är då syftet med att elnätsägaren i ett framtida scenario ska kliva in som en nyckelaktör när det kommer till implementering av tekniken? Efter att ha tagit del av de resultat som framgått i detta arbete kan det konstateras att det både finns för- och nackdelar med ett sådant upplägg. Huruvida konceptet kan bli framgångsrikt är till stor del beroende av yttre faktorer som ej är kopplade till tjänsten.

Ett exempel på en omständighet som skulle kunna försvåra ett scenario då elnätsägaren står som leverantör av tjänsten är om prissättningen av el skulle ändras. Vid flera tillfällen har



möjligheten att effektprissättning skulle införas berörts i rapporten och genom de genomförda SWOT-analyserna framgår det att det kan anses vara en nackdel för tjänsten som sådan samtidigt som det gynnar V2H som teknik. Detta kan verka paradoxalt men förklaringen ligger i ägandestrukturen av energitjänsten. Skulle el prissättas efter effekt kommer den anslutna V2H kunden högst sannolikt redan ha en styrning som gynnar elnäten. Detta utan att elnätsägaren måste gå in och formulera ett avtal med kunden. Tjänsten som sådan blir därför överflödiga.

I ett annat scenario, mer likt den elmarknad som vi ser idag, finns det däremot en poäng med att elnätsägaren är en aktiv aktör inom tjänsten. Som beskrivet under tidigare delar av rapporten riskerar en större elbilsflotta att ställa till bekymmer för elnäten. I den teoretiska bakgrunden ges en uppskattning att 30 procent av de lokala näten som ligger i ett ytterstadsområde riskerar sådana effekttökningar vilket gör att förstärkningar är oundvikliga. I ett fall då el inte prissätts efter effekt utan istället efter energi är det inte säkert att införandet av V2H-teknik automatiskt skulle optimeras efter nätens behov. Även om de V2H-lösningarna som erbjuds av biltillverkare idag visserligen har potential att minska belastningen i näten är dess primära syfte att tillgodose den enskilda kundens behov. Detta skulle till exempel kunna vara att reglera batteriets användande efter rådande elpris, vilket inte nödvändigtvis innebär att det sammanfaller med de tillfällen då effekttopparna är som högst. I dessa fall finns det en nytta av att elnätsägaren går in i tjänsten om man genom användandet av V2H vill stärka näten. Detta skulle till exempel kunna ske enligt den struktur som föreslagits i denna rapport. Huvudsaken är att elnätsföretaget, den enskilda aktör som har full insyn över nätens behov, reglerar användandet av de mobila energilagren för att på bästa sätt anpassa tekniken för att undvika behovet av förstärkningar orsakade av elbilsflottan. Omfattningen av en sådan tjänst skulle säkerligen variera från nät till nät beroende på dess dåvarande skick men det är ett rimligt antagande att perioden enbart skulle stäcka sig över ett par månader då behovet är som störst.

En annan viktig aspekt som talar för att elnätsägaren är drivande i V2H-konceptet är att det stärker företagets varumärke. Även om den potentiella vinst som presenterats i rapporten i form av minskade kostnader troligen skulle redovisas inom intäktsramen och på så vis inte öka företagets kapital är tekniken som sådan ett bra marknadsföringsverktyg. V2H står för nytänkande och modern teknik som inriktar sig mot hållbarhet och skulle därför platsa väl in i den eventuella tjänsteportfölj som elnätsföretagen nu överväger att ta fram.

### 6.3.2 Energitjänsten ur ett nätperspektiv

Det finns idag många fördelar med att integrera energilagring i nätet vilket driver på utvecklingen i denna riktning. Att kunna erbjuda mobila energilagring likt de som bilbatterierna utgör i V2H eller andra smarta laddningsalternativ blir därför mycket intressant ur ett nätperspektiv. Liket beskrivet i rapportens inledande del är möjligheten att utforma en mer flexibel energitillförsel en bidragande orsak till varför intresset för

batterilager har växt. Det vill säga möjligheten att nyttja energin när den behövs som bäst. Att med hjälp av energilager kunna säkerhetsställa att inmatning och utmatning från nätet är densamma i varje ögonblick skulle vara ett smart sätt att upprätthålla flexibilitet i takt med en allt mer föränderlig elproduktion.

När det kommer till transmission erbjuder batterier en ökad systemstabilitet, möjlighet till frekvenshållning, flaskhalshantering och möjligheten att undvika större nätinvesteringar. V2H som teknik kan inte själv svara för alla dessa nyttor men tekniken utgör ett första steg mot att flera lagringsmöjligheter med hjälp av elbilar införs. Till exempel skulle V2G kunna ge ett betydande bidrag till frekvenshållningen i nätet om tillräckligt många bilar anslöts. Av den anledningen finns det ytterligare en drivkraft från elmarknaden att inom en snar framtid få V2H gångbart, nämligen att det öppnar dörrar för mer avancerade tekniker.

Det finns också fördelar från ett elnätsperspektiv med att det är hushållen själva som hanterar energilager likt det aktuella fallet V2H. Den första tydliga fördelen är att det minskar behovet av reservkraft för att upprätthålla en effektbalans. Det skapar också en lokalnätsstabilitet och öppnar upp för en mer effektiv resursanvändning, speciellt om energilager kombineras med mikroproduktion. Även lokala energisystem skulle kunna utnyttja tekniken för stabiliserande åtgärder och resurseffektivisering när de drivs som öar bortkopplade från det överliggande nätet.

Några av de främsta nyttorna med en ökad användning av energilager är dock att det möjliggör den förnybarhetsrevolution som politiken och marknaden strävar efter att genomföra. För elnäten innebär det en kostnadseffektiv och genomförbar lösning på de problem som intermittent kraft innebär och tekniska lösningar så som V2H är därför nödvändiga för framtidens eldistribution.

### 6.3.3 Kundens drivkrafter för att medverka i energitjänsten

Kunden har en central roll i den energitjänst för effektreducering som utvärderats i denna rapport. För att en sådan tjänst ska bli framgångsrik är det viktigt att den blir anpassad efter kundens behov. Kundintervjuer och kundundersökningar är viktiga hjälpmedel på vägen för att få lärdom kring hur en tjänst av denna typ skulle tas emot av kunden och vilka önskemål som finns kring utformning och ersättning.

Idag är den typen av efterfrågefleksibilitet som det finns studier och implementering av främst inriktad på styrning av värmelast eller hushållsel hos kunden, vilket tas upp under delkapitel 2.4.2 Hushållskundens flexibilitet och ersättningskrav. För styrning av värmelast under vintertid har tidigare nämnda studier visat att kunden kräver en ersättning på 630 kronor årligen och 1435 kronor årligen för styrning av hushållsel. Enligt de beräknade värdena i den skapade affärsmodellen för effektreducering genom V2H skulle kunden utan ersättning tjäna 325 kronor, då inkluderat värdet av minskade kostnader för elhandel genom timprisavtal. Om elnätsföretaget väljer att dela ut hela vinsten (220 kr) på V2H-

kunderna skulle kunden tjäna 575 kronor vilket närmar sig ersättningskravet för styrning av värmelast ovan. Det är dock svårt att jämföra denna typ av styrning med styrning av elbilsbatteriet och värdera ersättningen i förhållande till den angivna ersättningssumman för värmelaststyrning. Detta är något som får lämnas till framtiden, då elbilsbatteriets eventuella roll i nättjänstemarknaden är mer utvecklad. Något som kan antas vara till V2H-styrningens fördel är dock att kundens komfort inte borde påverkas till lika stor del som vid exempelvis styrning av värmelast vintertid. Om V2H-styrningen bara kan garantera att det alltid finns en viss nivå tillgänglig i elbilsbatteriet och att kunden är delaktig i avtalets utformning borde denna typ av styrning vara mindre kännbar för kunden.

Genom att ha tillgång till tvåvägskommunikationen genom V2H-laddinfrastrukturen kan en större marknad öppna sig för kunden med möjlighet att tiden utanför tjänsteperioden använda tekniken till andra ändamål som tidigare tagits upp i rapporten. Exempelvis kan det vara för lagring av el från mikroproduktion, optimering mot elpriset eller som reservkraft vid eventuella avbrott. Tvåvägskommunikation öppnar även upp för möjligheten att delta i andra elbilsnättjänster som till exempel V2G. Dessa möjligheter kan vara en stark drivkraft för kunden på den framtida elmarknaden.

En viktig drivkraft som ej är att förglömma är att kunden genom V2H-energitjänsten kan känna sig delaktig i den nya, mer hållbara energiförsörjningen med en ökande andel förnybar energi som med stor sannolikhet kommer kräva kundnära lösningar som denna.

### 6.4 Framtidsutsikter

Som nämnts tidigare i diskussionen finns det en hel del svårigheter att förutspå teknikens genomslagskraft och gångbarhet i ett 2030års scenario. Inte minst på grund av utomstående faktorer som inte är kopplade till tekniken som sådan. I kapitel 5 Utvärdering av V2H har några eventualiteter identifierats som skulle kunna kasta om den utveckling som rapportens simulering och affärsmodell bygger på. Till exempel grundas teknikens framgång på att batteriutvecklingen fortsätter i samma riktning som skett de senaste åren, större batterikapacitet och billigare tillverkning. Som beskrivits i hållbarhetsanalysen är batteritillverkningen inte helt problemfri, mycket på grund av utvinningen av litium. Det är inte otänkbart att samhället skulle välja en alternativ väg som minskar beroendet av metallen och istället leta efter lösningar som går att tillämpa med hjälp av mindre batterier. Redan idag pågår forskningsprojekt på elvägar och i Sverige har pilotprojekt genomförts i verkliga trafikscenarion. Denna teknik bygger på att elbilen laddas upp under vissa utvalda körsträckor och är därför inte beroende av en stor batterikapacitet. Istället kan mindre batterier användas och samtidigt klara körning över långa distanser. Visserligen utesluter elvägar inte att batterikapaciteten ökar men blir problematiken runt batteritillverkningen tillräckligt kännbara finns en möjlighet att tekniker som bygger på stor lagringskapacitet konkurreras ut.

Ett annat scenario som potentiellt skulle kunna försvåra utvecklingen av V2H som effektreducerande verktyg är om behovet av förstärkning i nätet minskade eller helt försvann. I alla fall om tjänsten utgår från elnätsföretaget likt den som föreslås i rapporten. Som beskrivits i avsnittet "V2H-nätperspektivet" är problematiken med överbelastningar störst i lokalnät som ligger i ytterstadsområden. Ett tänkbart scenario som skulle kunna innebära att lasten minskade i dessa områden utan att energilager introduceras är om fjärrvärmenäten byggs ut i allt större utsträckning. I takt med att elpriserna stiger är det troligt att flera kunder skulle efterfråga en sådan utveckling för att byta uppvärmningssystem. Något som också skulle kunna leda till ett minskat behov av förstärkningar år 2030 är om dessa åtgärder redan har skett innan V2H-tekniken har nått den mognadsgrad som krävs för att börja användas i stor skala. Skulle nätet bedömas att vara i tillräckligt dåligt skick redan under de närmsta åren finns det en risk att det inte går att vänta ut att andra lösningar ska finnas tillgängliga för att förstärka näten.

I rapporten har V2H-tekniken isolerats och utvärderats utan inslag av andra typer av smart styrning av elförbrukningen. Om V2H-tekniken får genomslag och i framtiden blir en del av det smarta hemmet kommer den säkerligen kompletteras av både styrning av elapparater, värmelast och stationära batterier. Det är som sagt mycket svårt att bedöma om och hur tekniken kommer användas inom en 15-års period. Däremot pekar utvecklingen inom transportsektorn mot att framtiden är eldriven och inom elnät går utvecklingen mot mer småskaliga och lokala lösningar. Det är därför inte osannolikt att anta att V2H-tekniken i någon form kommer vara en viktig del av en smartare elmarknad i framtiden.

## 7. Slutsats

Denna studie bygger på simuleringar över en nätstation i ett lokalnät som ligger nära överbelastning. Nättsimuleringen visade att med en ökad elbilsvolym skulle detta leda till ett effektbehov som under vissa timmar på dygnet under vintertid leder till överbelastning i nätet. För en elbils-volym på 80 procent visade V2H-styrningen stor potential att kunna jämna ut lasten och även i vissa fall minska lasten vid effekttoppar. Även om potentialen verkar vara störst vid höga elbilsvolymer, minskas belastningen på nätet även vid 20 procent och 40 procent elbilar. Simuleringsresultatet styrker därmed teorin att elbilarnas batterier ska kunna användas som energilager och minska hushållens last under timmar med hög förbrukning då belastningen är hög.

Med utgångspunkt från simuleringsresultatet skapades en affärsmodell för hur elnätsföretaget ska kunna erbjuda V2H-tekniken som en energitjänst för effektreducering. Den ekonomiska utvärderingen visade att tjänsten blir värdefull för både kund och elnätsföretag först vid ett införande på lokalnätetsnivå. Det är även troligt att tjänsten skulle gynnas av att paketeras tillsammans med andra V2H-tjänster som till exempel optimering mot spotpris och lagring av el från mikroproduktion. Energitjänsten skulle även, så som den är tänkt att utformas enligt rapporten, kräva vissa lagändringar för att implementeras. De som tagits upp i rapporten är att nättariffer ska vara icke-diskriminerande och att elnätsföretag inte får hantera energilager i annat syfte än att täcka nätförluster.

Ett av de tekniska hinder som framkommit är det batterislitage som tjänsten medför. Mer studier av detta behövs för att kunna värdera denna kostnad som i denna studie blev en betydelsefull kostnadspost med stor inverkan på det ekonomiska resultatet. Externa faktorer så som elbils- och batteribranschens framväxt, utveckling av elmarknaden och prissättning är sådant som kan påverka tekniken i både positiv och negativ riktning. Högst sannolikt är dock att smarta laddningssystem kommer vara en viktig del av den framtida omställningen av både transportsektor och elnätsverksamhet enligt dagens prognoser.

Förslag på fortsatta studier inom ämnet:

- **Utökad nättsimulering under längre tidsperiod tillsammans med en styrning som även tar hänsyn till den sammanlagrade lasten.**

En nättsimulering utförd under en längre tidsperiod skulle ge ett starkare resultat och ta in de naturliga lastvariationer med avseende på utomhustemperatur som uppstår under en längre period. Genom att även inkludera nätstationens

sammanlagrade last i styrningen skulle regleringen kunna optimeras ur ett elnätsperspektiv.

- **Nätsimulering för V2H i kombination med mikroproduktion från solceller.**  
Eftersom denna studie baserats på nätsimulering under vinterid, har inte kombinationen av V2H tillsammans med solceller analyserats. Under sommarmånaderna hade det varit intressant att studera denna kombination eftersom elbilen skulle kunna laddas med elenergi från solen och även kunna lagra solenergi för att undvika för hög inmatning på nätet under låglastperioder.
- **Optimering för minskat batterislitage till följd av användning av elbilsbatteri som energilager för effektreducering**  
När elbilen ska användas i smarta laddningssystem och i elbilsnättjänster kommer detta medföra ett högre slitage på batteriet. Med mer forskning kring de parametrar som påverkar batterislitage skulle en användning av V2H för effektreducering kunna styras även för att minimera detta slitage.
- **Nätanalys i sekundskala**  
Ytterligare analys av påverkan på elkvalité skulle kunna utföras vid en högre tidsupplösning på förslagsvis sekundskala.
- **Utveckling av affärsmodell som inkluderar andra V2H-energitjänster i paketering till kund**  
För att kunna synliggöra V2H-teknikens fulla potential skulle en studie kring elbilens roll i det smarta hemmet vara värdefull. De övriga tjänster som elbilsbatteriet skulle kunna vara en del av skulle kunna skapa affärsmodeller som integrerar fler aktörer och marknader.
- **Kundintervjuer för att kunna utvärdera kundens synsätt på V2H som energitjänst**  
För att skapa en uppfattning kring kundens synsätt på tekniken, krav på ersättning och inställning till konceptet skulle kundintervjuer och enkätundersökningar vara mycket värdefullt för att kunna skapa konkurrenskraftiga affärsmodeller.

# Referenser

- Aktuell hållbarhet, 2016. *Det kommer vi tanka år 2030*. [Online]  
<http://www.aktuellhallbarhet.se/det-kommer-vi-tanka-2030/> [Använd 28 11 2016].
- Almi, u.d. *SWOT-analys*. [Online]  
<http://www.almi.se/Kunskapsbank/Information-och-fakta/SWOT-analys/> [Använd 26 11 2016].
- Ambrose, H. & Kendall, A., 2016. Effects of battery chemistry and performance on the life cycle greenhouse gas intensity of electric mobility. *Transportation research*, Issue 47, pp. 182-194.
- Anon., u.d. *SFS 1997:857 Ellagen*. u.o.:u.n.
- Arcus, C., 2016. *Battery Lifetime: How Long Can Electric Vehicle Batteries Last?*. [Online]  
<https://cleantechnica.com/2016/05/31/battery-lifetime-long-can-electric-vehicle-batteries-last/> [Använd 7 10 2016].
- Batteriföreningen, 2011. *Litiumbatterier – Allmänt*. [Online]  
<http://batteriforeningen.se/ej-laddningsbara/litium/allmant-om-litiumbatterier/> [Använd 7 10 2016].
- BBC, 2012. *Tsunami steers Japan tech innovation*. [Online]  
[http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/click\\_online/9704041.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/click_online/9704041.stm) [Använd 21 11 2016].
- Berthold, F. o.a., 2011. *PHEV Control Strategy Including Vehicle to Home (V2H) and Home to Vehicle (H2V) functionalities*, Montréal: IEEE.
- Bixia, 2015. *Snabbare höjning av elpriset – enligt elbolaget Bixias långtidsprognos*. [Online]  
<https://www.bixia.se/om-bixia/press/nyheter/2015/snabbare-hojning-av-elpriset> [Använd 14 12 2016].
- Bollen, M., 2010. *Anpassning av elnäten till ett utbålligt energisystem*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Broberg, T. o.a., 2014. *En elmarknad i förändring - är kundernas flexibilitet till salu eller ens verklig*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Cobb, J., 2016. *2018 Nissan Leaf Could Get Battery Options Up to 60 kWh*. [Online]  
<http://www.hybridcars.com/2018-nissan-leaf-could-get-battery-options-up-to-60-kwh/> [Använd 21 11 2016].

- Coes, B., 2014. *Critically assessing the strengths and limitations of the Business Model Canvas*, Nijverdal: University of Twente.
- Damsgaard, N. o.a., 2014. *Framtida krav på elnäten*, u.o.: Elforsk.
- Danderyds kommun, 2016. *Kommun och politik*. [Online]  
<http://www.danderyd.se/sv/Kommun--politik/> [Använd 25 10 2016].
- Dong, F., Kostyniak, T. & Baldwin, L., 2012. Dealing with Power Flow Solution Difficulties. *Power technology*, Issue 111.
- E.ON, 2016 a. *Elnätet - hur funkar det egentligen?*. [Online]  
<https://www.eon.se/artiklar/elnaetet--hur-fungerar-det-.html> [Använd 22 11 2016].
- E.ON, 2016 b. *Ladda hemma*. [Online]  
<https://shop.eon.se/hemmaladdare-med-uttag-typ2-230-v> [Använd 21 12 2016].
- E.ON, 2016 c. *Våra elnätsabonnemang för dig som bor i villa eller fritidshus*. [Online]  
<https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-prislista-villa-fritidshus-sthlm-160701.pdf> [Använd 18 12 2016].
- EIFS 2014:7, 2014. *Föreskrifter och allmänna råd om ändring i Energimarknadsinspektionens föreskrifter*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Elbilsstatistik, 2016. *Elbilen i Sverige*. [Online]  
<http://elbilsstatistik.se/startside/se-statistik/> [Använd 25 10 2016].
- Emobility, 2016 a. *Elbilen på 5 minuter*. [Online]  
<http://emobility.se/startside/elfordon/elbilen-pa-5-minuter/> [Använd 28 11 2016].
- Emobility, 2016 b. *Snabbladdning*. [Online]  
<http://emobility.se/startside/laddstationsguiden/forberedelser/1-2-snabbladdning-eller-normalladdning/> [Använd 28 11 2016].
- Energiforsk, 2015. *Syntes av eltariffer*, Stockholm: Energiforsk.
- Energimarknadsinspektionen, 2012. *Elnät och reglering av elnätsavgifter*. [Online]  
<http://www.energimarknadsinspektionen.se/sv/el/Elnat-och-natprisreglering/> [Använd 13 12 2016].
- Energimarknadsinspektionen, 2013. *Enklare för kunden -- förslag som ökar förutsättningarna för en nordisk slutkundsmarknad*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Energimarknadsinspektionen, 2015. *Elmarknadens aktörer*. [Online]  
<http://ei.se/sv/el/elmarknader-och-elhandel/Elmarknadens-aktorer/> [Använd 22 11 2016].
- Energimarknadsinspektionen, 2015. *Incitament för effektivt utnyttjande av elnätet*, Eskilstuna : Energimarknadsinspektionen.
- Energimarknadsinspektionen, 2016. *Elnät*. [Online]  
<http://www.ei.se/sv/for-energikonsument/el/din-elnatsavgift/> [Använd 28 11 2016].



- Energimyndigheten, 2014. *Uppföljning av timmättningsreformen*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Energimyndigheten, 2016. *Elnät och elmarknad*. [Online] <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/fornybar-el/elnat-och-elmarknad/> [Använd 22 11 2016].
- Ericsson, 2010. *Universalkabelhandboken*, Falun: Ericsson AB.
- Eriksson, I. & Pettersson, L., 2016. *Nya förutsättningar för elnätsföretagen*, Uppsala: Uppsala universitet.
- Europeiska unionen, 2016. *Transport - Stora utmaningar för transporterna i EU*. [Online] [https://europa.eu/european-union/topics/transport\\_sv](https://europa.eu/european-union/topics/transport_sv) [Använd 16 11 2016].
- Gustafsson, A., 2016. *Lokalnätsprojektör E.ON Elnät* [Intervju] (15 10 2016).
- Haines, G., McGordon, A. & Jennings, P. J., 2009. *The Simulation of Vehicle-to-Home Systems – Using Electric Vehicle Battery Storage to Smooth Domestic Electricity Demand*, Coventry: University of Warwick.
- Hansson, J. & Grahn, M., 2013. *Utsikt för förnybara drivmedel i Sverige*, Göteborg: IVL.
- Hansson, M., Johansson, O. & B, N., 2014. *Energilager i energisystemet*, Stockholm: Power Circle.
- Hellström, C., 2016. *Elproduktion*. [Online] <http://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/> [Använd 21 11 2016].
- IEA, 2016. *Global EV outlook 2016*, Frankrike: OECD/IEA, 2016.
- IVA, 2016 a. *Framtidens elmarknad*, Stockholm: IVA.
- IVA, 2016 b. *Sveriges framtida elnät*, Stockholm: IVA.
- Johansson, B. & Jonsson, D. K., 2009. *Transport sektornsenergiförsörjning. En utblick med ett europeiskt perspektiv*, Stockholm: FOI.
- Jäderberg, P., 2015. *Metoder för kartläggning och analys av nätförluster i lågspänningsnät*, Uppsala: Uppsala universitet.
- Kempton, W. & Tomi, J., 2004. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. *Journal of Power Sources* 144, pp. 268-279.
- Kulin, D., 2015. *Energikommissionen*. [Online] [http://www.energikommissionen.se/app/uploads/2015/09/daniel\\_kulin.pdf](http://www.energikommissionen.se/app/uploads/2015/09/daniel_kulin.pdf) [Använd 15 12 2016].
- Laphai, Z. S. & Polat, S., 2015. *Framtidens elnät - Hur elbilar och solceller påverkar på det lokala elnätet*, Karlstad: Karlstads universitet.
- Larsson, Ö., 2010. *Ladda för nya marknader*, Stockholm: Vinnova.

- Larsson, Ö. & Ståh, B., 2011. *Smart ledning - Drivkrafter och förutsättningar för utveckling av avancerade elnät*, Stockholm: Vinnova- Verket för innovationssystem.
- Lepers, C., 2014. *PPTTOP*. [Online]  
<http://www.pptpop.com/free-swot-analysis-ppt-template/> [Använd 26 11 2016].
- Lindén, M., 2015. *Transaktiv Energi*. [Online]  
<http://blogs.sweco.se/smartstad/2015/10/09/transaktiv-energi/> [Använd 28 11 2016].
- Liu, C., Chau, K. T., Wu, D. & Gao, S., 2013. Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies. *Proceedings of the IEE*, 101(11), pp. 2409-2427.
- Lövkvist Andersen, A.-L. & Nyberg, L., 2013. *Klimat- och energistrategi i Stockholms län*, Stockholm: Länsstyrelsen Stockholm.
- Messer Thomsen, M., 2016. *V2G technology Frederiksberg* [Intervju] (20 09 2016).
- Meyer, R., 2016. *Förslag till Klimat- och energistrategi för Danderyds kommun*, Danderyd: Kommunledningskontoret.
- Mihailovic, A., 2016. *Elnätsaffären* [Intervju] (20 10 2016).
- Mitsubishi, 2016 a. *Outlander - Plug in hybrid*. [Online]  
<http://mitsubishimotors.se/bilar/outlander-phev-2016#!teknik> [Använd 15 08 2016].
- Mitsubishi, 2016 b. *V2H / V2B / V2C*. [Online]  
<http://www.mitsubishi-motors.com/en/events/motorshow/2015/fms2015/technology/>  
 [Använd 21 11 2016].
- Montin, S., Björck, A., Adsten, M. & Haegermark, H., 2013. *Översiktlig bedömning av teknikutveckling och tillämpning inom nyckelområden som ställer nya krav - elfordon, vindkraft, solceller och energilagring*, u.o.: North European power perspectives .
- Naturskyddsföreningen, 2016. *Frågor och svar om bilar och miljö*. [Online]  
<http://www.naturskyddsforeningen.se/faqbilar> [Använd 13 12 2016].
- Naturvårdsverket , 2016. *Utsläppen av växthusgaser*. [Online]  
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/utslappen-av-vaxthusgaser/> [Använd 16 11 2016].
- Nilsson, M., 2016. *Så kan elbilen ta över i åtta steg*. [Online]  
<http://etn.se/index.php/62186> [Använd 20 09 2016].
- Nissan Global, 2016. *“Vehicle to Home” Electricity Supply System*. [Online]  
[http://www.nissanglobal.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle\\_to\\_home.html](http://www.nissanglobal.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/vehicle_to_home.html) [Använd 21 11 2016].
- Nissan, 2016. *Nissan Leaf*. [Online]  
<http://www.nissan.se/SE/sv/vehicle/electric-vehicles/leaf/charging-and-battery/charging-nissan-leaf-and-battery.html> [Använd 15 09 2016].

- NordPool, u.d. *Producers*. [Online]  
<http://www.nordpoolspot.com/How-does-it-work/The-market-members/Producers/>  
 [Använd 22 11 2016].
- Nykvist, B. & Nilsson, M., 2015. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, Issue 5, pp. 329-332.
- Nylund, S.-I., 2006. *Analysmetoder för regional utveckling – handledning i att använda SWOT och benchmarking*, Stockholm: u.n.
- Osterwalder, A. & Pigneur, Y., 2010. *Business Model Generation : A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. u.o.:Wiley.
- Pandita, S., 2015. u.o.: u.n.
- Parsons, G. R., Hidrue, M. K., Kempton, W. & Gardner, M. P., 2014. Willingness to pay for vehicle-to-grid (V2G) electric vehicles and their contract terms. *Energy Economics* , Issue 42, pp. 313-324.
- plugincars, 2016. *Plugin cars* [Online]  
<http://www.plugincars.com/cars> [Använd 20 09 2016].
- Power Circle , 2016. *Pressmeddelande 23 351 laddbara bilar i Sverige*. [Online]  
<http://powercircle.org/nyhet/23-351-laddbara-bilar-i-sverige/> [Använd 20 09 2016].
- Power Stream, 2012. *A car battery that power your house?*. [Online]  
<https://www.powerstream.ca/attachments/SmartGrid-EV-V2HPSupply.pdf> [Använd 21 11 2016].
- Roberts, K. B., 2016. *University of Delaware-Vehicle to grid*. [Online]  
<http://www.udel.edu/udaily/2016/august/vehicle-to-grid-denmark/> [Använd 16 11 2016].
- Sami, M., 2015. *How Smart Grid Affects a Local Network Activity*, Karlstad: Karlstad universitet.
- SCB, 2016. *Fordonsstatistik*. [Online]  
[http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Transporter-och-kommunikationer/Vagtrafik/Fordonsstatistik/#c\\_undefined](http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Transporter-och-kommunikationer/Vagtrafik/Fordonsstatistik/#c_undefined) [Använd 25 10 2016].
- Statens offentliga utredningar, 2013. *Fossilfrihet på väg Del 1*, Stockholm : Regeringen .
- Sweco, 2014. *Analysera effekten av olika förändringar i regelverk, rollfördelning och marknadsmodeller som kan bidra till att utnyttja möjligheterna till efterfrågeflexibilitet bättre*, u.o.: NEPP.
- Swedish smartgrid, a. *Aktörerna på elmarknaden*. [Online]  
<http://swedishsmartgrid.se/smarta-elmat-i-sverige/aktorer-pa-elmarknaden/> [Använd 22 11 2016].
- Swedish Smartgrid, b. *Vad är smarta elnät?*. [Online] <http://swedishsmartgrid.se/vad-ar-smarta-elmat/> [Använd 24 11 2016].

- Svensk energi, 2015. *Kundens elkostnader - så här fungerar det*. [Online]  
[http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/information/kundens%20elkostnader\\_A4\\_sept2015%20\(2\).pdf](http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/information/kundens%20elkostnader_A4_sept2015%20(2).pdf) [Använd 22 11 2016].
- Svensk energi, 2016. *Elbörsen Nord Pool*. [Online]  
<http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elmarknaden/Elborsen-Nord-Pool-Spot/> [Använd 22 11 2016].
- The Chronicle Herald, 2012. *Plug-in hybrids are the future; not hydrogen, not electric*. [Online]  
<http://thechronicleherald.ca/wheelsnews/200992-plug-in-hybrids-are-the-future-not-hydrogen-not-electric> [Använd 21 11 2016].
- Thuring, P., 2016. *Avgift mot överläggande nät* [Intervju] (7 11 2016).
- Toyota Global, 2016. *Our approach to Verification of V2H (Vehicle to Home)*. [Online]  
[http://www.toyotaglobal.com/innovation/intelligent\\_transport\\_systems/world\\_congress/2012vienna/V2H.html](http://www.toyotaglobal.com/innovation/intelligent_transport_systems/world_congress/2012vienna/V2H.html) [Använd 21 11 2016].
- Tuttle, D. P., Fares, R. L., Baldick, R. & Webber, M. E., 2013. *Plug-In Vehicle to Home (V2H) Duration and Power*. u.o., IEEE.
- Vattenfall, 2016. *Frågan är inte om, utan när elbilar blir vardag*. [Online]  
<https://www.vattenfall.se/ladda-elbilen/fakta-elbilar/fler-elbilar-pa-vagarna/> [Använd 28 11 2016].
- Vattenfall, u.d. *Timpris på elbörsen*. [Online]  
<https://www.vattenfall.se/elavtal/rorligt-elpris/timpris-pa-elborsen/> [Använd 1 12 2016].
- Åhman, M., 2016. *Elmarknadens omvandling - Reglering, vägval och drivkrafter för elsystemets utveckling till 2050*, Lund: Lund University.

# Bilaga 1

Värden för beräkningar för minskad kostnad för elhandel. Förbrukning i sammanlagrade timvärden för nätstation från 30/1-2012 00.00 till 5/2 -2012 23.00.

Förbrukning E G2 (MWh)	Förbrukning E V2H80 (MWh)	Spotpris (öre/kWh)	Ediff*spotpris
0,5795	0,7749	31,19	-60,93
0,5485	0,6766	30,47	-39,00
0,5589	0,7246	29	-48,07
0,5518	0,6025	28,48	-14,43
0,5633	0,6676	29,64	-30,92
0,5752	0,5619	30,31	4,03
0,5807	0,6240	34,09	-14,75
0,6496	0,5867	46,2	29,05
0,6920	0,6920	50,44	0
0,6802	0,6802	47,35	0
0,6519	0,6519	43,57	0
0,5880	0,5880	40,4	0
0,5411	0,5411	40,21	0
0,5072	0,5072	40,01	0
0,4742	0,4742	39,38	0
0,4631	0,4631	41,38	0
0,4867	0,4867	44,51	0
0,9338	0,5434	52,41	204,58
0,7613	0,4653	52,78	156,22
0,6619	0,5580	43,84	45,58
0,6718	0,5019	34,67	58,88
0,6761	0,6043	33,45	24,01
0,6717	0,6384	32,13	10,69
0,6567	0,6933	31,56	-11,56
0,6374	0,7284	32,5	-29,58
0,5974	0,7339	32,18	-43,93
0,5870	0,6806	32,48	-30,40
0,5865	0,7137	32,65	-41,55
0,5796	0,6706	32,96	-30,00
0,5831	0,6978	34,16	-39,18
0,6010	0,5895	40,58	4,65
0,6586	0,5505	49,32	53,28
0,7177	0,7177	61,39	0

0,6862	0,6862	54,3	0
0,6416	0,6416	47,14	0
0,6097	0,6097	46,34	0
0,5506	0,5506	44,6	0
0,51233	0,5123	43,61	0
0,4800	0,4800	40,83	0
0,4823	0,4823	43,6	0
0,4970	0,4970	43,53	0
0,9535	0,7481	76,97	158,05
0,8872	0,6849	63,2	127,91
0,7632	0,6400	50,65	62,40
0,8029	0,6535	44,46	66,45
0,6790	0,6409	39,15	14,92
0,6768	0,6698	35,58	2,50
0,6421	0,6813	33,86	-13,27
0,5827	0,8117	34,89	-79,90
0,5651	0,8082	34,49	-83,84
0,5745	0,7528	34,25	-61,08
0,5812	0,7292	34,42	-50,94
0,5868	0,6412	35,52	-19,31
0,6313	0,6517	38,59	-7,85
0,6225	0,5936	40,07	11,56
0,6796	0,6252	177,04	96,29
0,7537	0,7537	180,61	0
0,7062	0,7062	119,99	0
0,6868	0,6868	81,51	0
0,6422	0,6422	58,01	0
0,6091	0,6091	52,03	0
0,5798	0,5798	53,43	0
0,5541	0,5541	52,91	0
0,5749	0,5749	53	0
0,5963	0,5963	155,68	0
1,0075	0,5679	180,6	793,84
0,8056	0,4974	133,37	411,05
0,6642	0,6542	50,69	5,06
0,7089	0,5639	45,8	66,42
0,7207	0,6079	42,66	48,14
0,6936	0,6588	40,65	14,13
0,6831	0,6920	37,22	-3,30
0,6710	0,8493	37,3	-66,52
0,6697	0,8495	35,86	-64,48
0,6610	0,8452	35,35	-65,13
0,6660	0,7655	35,88	-35,71

0,6614	0,7864	37,24	-46,57
0,6779	0,6994	39,19	-8,41
0,6889	0,7447	60,38	-33,73
0,7417	0,6988	225,76	96,89
0,7949	0,7949	200,02	0
0,7792	0,7792	120,01	0
0,7329	0,7329	128,44	0
0,6942	0,6942	133,39	0
0,6633	0,6633	115,56	0
0,6509	0,6509	64,66	0
0,6244	0,6244	75,11	0
0,6473	0,6473	70,31	0
0,6709	0,6709	145,85	0
1,1020	0,8063	208,39	616,06
1,0126	0,7410	111,09	301,69
0,9370	0,7446	88,91	171,06
0,9196	0,7660	58,88	90,41
0,80879	0,7518	49,96	28,46
0,7883	0,8060	44,04	-7,82
0,7727	0,8186	39,13	-17,95
0,7563	0,8770	40,63	-49,00
0,7258	0,8342	38,77	-42,03
0,7263	0,8684	37,32	-53,02
0,7141	0,8292	37,64	-43,31
0,7052	0,7866	38,02	-30,94
0,7192	0,7832	38,04	-24,34
0,7146	0,7623	46,03	-21,97
0,7601	0,7238	176,96	64,16
0,7936	0,7936	183,25	0
0,7722	0,7722	160,49	0
0,7596	0,7596	76,21	0
0,7357	0,7357	74,98	0
0,7100	0,7100	59,93	0
0,6964	0,6964	51,69	0
0,6605	0,6605	48,07	0
0,6499	0,6499	47,98	0
0,6987	0,6987	56,58	0
1,1002	0,6788	175,92	741,37
0,8838	0,6514	98,7	229,33
0,7904	0,6916	66,58	65,77
0,7801	0,7083	51,3	36,82
0,7811	0,7086	44,89	32,55
0,7761	0,7890	46,92	-6,07

0,7804	0,7308	39,2	19,43
0,7505	0,7423	44,87	3,65
0,7256	0,8232	40,69	-39,74
0,7176	0,8622	39,38	-56,97
0,7240	0,8202	39,98	-38,46
0,7129	0,8313	40,41	-47,84
0,7281	0,7758	39,09	-18,65
0,7237	0,7903	37,73	-25,12
0,7408	0,7500	39,14	-3,62
0,7588	0,7769	41,34	-7,49
0,7901	0,7283	46,88	28,96
0,7989	0,7323	49,13	32,72
0,7790	0,7365	45,35	19,29
0,7401	0,7401	42,63	0
0,7274	0,7274	39,99	0
0,7158	0,7158	39,12	0
0,6970	0,6970	39,75	0
0,7208	0,7208	45,1	0
0,7873	0,7873	62,43	0
1,2148	0,9280	91,52	262,43
1,0986	0,8633	59,36	139,68
0,9713	0,9140	45,97	26,36
0,9718	0,8593	42,41	47,70
0,8170	0,8629	41,95	-19,24
0,8122	0,8211	38,43	-3,41
0,7919	0,9355	38,93	-55,88
0,7629	0,8295	37,71	-25,11
0,7417	0,9322	36,34	-69,24
0,7422	0,8843	36,17	-51,39
0,7436	0,8982	36,26	-56,07
0,7463	0,8170	35,78	-25,28
0,7475	0,8570	35,76	-39,16
0,7678	0,7160	35,68	18,48
0,7930	0,8241	35,67	-11,08
0,8036	0,7122	37,97	34,70
0,7898	0,8068	37,65	-6,40
0,7810	0,7514	37,65	11,14
0,7593	0,7593	36,16	0
0,7259	0,7259	34,58	0
0,7099	0,7099	34,48	0
0,7162	0,7162	36,52	0
0,7442	0,7442	38,11	0
0,7716	0,7716	45,65	0



0,7966	0,7966	51,8	0
1,1858	0,9656	46,52	102,41
1,0472	0,9392	40,08	43,30
0,8964	0,8365	39,6	23,73
0,8789	0,8907	38,57	-4,56
0,7337	0,8521	37,58	-44,494
<b>Summa:</b>			<b>3738,22</b>