



APRIL 2023

Forskning och utveckling av V2X i Sverige

En syntesrapport om forskningsläget och framtida
forskningsbehov

Rapportförfattare:

Jesper Werneskog & Anna Wolf, Power Circle

på uppdrag av Energimyndigheten

Sammanfattning

Begreppet V2X, även kallat Vehicle to Everything, används inom flera områden och kan ha olika betydelse beroende på sammanhang. V2X används dels inom kommunikationsområdet för att beskriva informationsutbyte mellan fordon och smart transportinfrastruktur, dels för att beskriva att bilen kan överföra energi från batteriet till olika system. I denna syntes definieras V2X som att genom dubbelriktad laddning kunna både ta emot och leverera el från elbilen till omgivande system. Inom begreppet finns dessutom flera olika tillämpningar, så som Vehicle to Home (V2H), Vehicle to Building (V2B), Vehicle to Load (V2L) och Vehicle to Grid (V2G). Smart laddning och V2X är viktiga komponenter för att minska belastningen på elnätet från elbilsflottan och frigöra tjänster till elsystemet. V2X har potential att bidra med många nyttor i elsystemet, exempelvis att optimera situationen för bilägaren bakom mätaren, hantera flaskhalsar åt lokalnätägaren, erbjuda flexibilitet till balansansvarig eller bidra med frekvensreglering och andra stödtjänster till elsystemet.

V2X är ett relativt nytt område inom forskningen, även om idén beskrevs i litteraturen redan i slutet av 1990-talet, och många projekt har startats upp de senaste åren. Biltillverkare har olika åsikter om tekniken, där vissa är mer öppna med att bilen ska bidra med så mycket nytta som möjligt, medan andra anser att bilen enbart ska användas för sitt primära syfte – det vill säga transport. Tankarna kring vilken tillämpning (V2G, V2B eller V2H) som kommer realiseras först skiljer sig åt. Många av respondenterna i den här studien tror att V2H kommer realiseras först, men skillnader finns mellan utvecklingen i olika länder.

Även om det finns flera exempel på pilotprojekt och tester runt om i världen, och även i viss mån i Sverige, är utrullningen av teknik och affärsmodeller för V2X ännu i sin linda, och de flesta deltagare i denna studie tror att tekniken kommer börja komma på plats inom 1–5 år. I en internationell kontext tycks Sverige ligga relativt långt fram vad det gäller teknikutveckling kring V2X, men andra länder som Nederländerna, USA, Storbritannien och även Danmark har kommit längre med implementering och storskaliga pilotstudier.

Genom en intervjustudie, ett rundabordssamtal och analys av befintlig litteratur har forskningsläget undersökts i denna studie, och en sammanställning har gjorts av vilka hinder som står i vägen för en storskalig implementering av V2X idag. Utmaningarna kan sammanfattas i tekniska, ekonomiska, regulatoriska/marknads- och sociala utmaningar och har i denna studie fördelats inom följande tematiska områden:

- Elbilens roll i elsystemet
- Hur påverkas batterier av dubbelriktad laddning?
- Hur kommer elbilar laddas framöver?
- Utmaningar kring affärsmodeller
- Sociala och beteendemässiga utmaningar
- Regulatoriska utmaningar
- Övriga utmaningar

Till tekniska utmaningar hör bland annat behovet av att studera närmare hur dubbelriktad laddning påverkar elkvalitet, elsäkerhet och batterislitage, men generellt dras slutsatsen att det inte främst är tekniska utmaningar som begränsar utvecklingen i nuläget. Den största tekniska utmaningen i dagsläget är kanske att få bilmodeller och laddare färdiga för att hantera dubbelriktad laddning. Ett teknikval kan också behöva göras kring var styrutrustningen ska sitta – i bilen eller i laddstolpen – även om de två tekniska alternativen i nuläget verkar kunna samexistera. Den största ekonomiska utmaningen tycks i dagsläget vara att laddare som klarar dubbelriktad laddning fortfarande är dyra, alternativt att bilarna blir dyrare om styrutrustningen sitter i bilen.

Till regulatoriska utmaningar och marknadsutmaningar hör behovet av att utveckla reglering på EU-nivå för att hantera nya marknadsaktörer inom smart laddning och V2X, samt behovet av att vidareutveckla standarder för ökad interoperabilitet, även om det pågår mycket arbete kring standardisering för närvarande. Frågor kring marknadsmognad, affärsmodeller, avtal och hur olika marknader och aktörer samverkar med varandra har också lyfts fram som områden som behöver utvecklas vidare. Cybersäkerhet och datatillgång är ytterligare utmaningar som identifierats och områden där det kan behövas mer studier.

I nuläget visar resultaten att de sociala utmaningarna är det största hindret, och det område som är i störst behov av mer forskning. Ett hinder är att kunskapsnivån kring V2X är låg hos allmänheten och att många identifierade hinder, exempelvis kopplat till batterislitage och räckviddsångest, kanske snarare handlar om bristande kunskap än om verkliga tekniska begränsningar. Insatser skulle därför behöva göras för att öka och sprida kunskap kring V2X, både från befintlig forskning men också genom storskaliga tester av tekniken hos en större bredd av människor. Rättviseaspekter kopplat till implementering av V2X specifikt, men också kring flexibilitet i allmänhet, har också lyfts fram av flera respondenter som ett område som kräver mer forskning.

En åsikt som lyftes bland flera respondenter i intervjustudien var att det inte främst är mer forskning på enskilda utmaningar eller på teknikutveckling som behövs för att tekniken ska kunna rullas ut. Det som är mest efterfrågat är istället storskaliga pilotprojekt och/eller kommersiella projekt i stor skala inom näringslivet för att testa teknik och affärsmodeller i verkligheten. Ett behov av att testa olika tekniker för att säkerställa interoperabilitet i någon form av testbädd har också lyfts fram.



Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
1 Bakgrund och syfte	5
1.1 Avgränsningar och frågeställningar	5
2 Genomförande	7
2.1 Förstudie	7
2.2 Intervjustudie	7
2.3 Skrivbordsstudie	7
2.4 Rundabordssamtal	8
2.5 Analys av inhämtad information	8
3 Bakgrund och definitioner	9
3.1 Bakgrund	9
3.2 Definitioner	10
3.3 Potentiella nyttor med dubbelriktad laddning	12
3.4 Historisk utveckling av dubbelriktad laddning	12
4 Forskning och utveckling av V2X i Sverige i dag	14
4.1 Tematiska forskningsområden	14
4.2 Identifierade aktörer som bedriver forskning och utveckling	15
4.3 Näringslivsaktörer	17
4.4 Finansiärer	18
4.5 Större satsningar	19
4.5.1 Swedish Electromobility Centre (SEC)	19
4.5.2 Swedish Electric Transport Laboratory (SEEL)	21
4.5.3 Swedish Electricity Storage and Balancing Centre (SESBC)	21
4.5.4 STandUP for Energy	21
4.6 Pågående projekt	22
5 Internationell Utblick	25
5.1 Exempel på forskning och utveckling kring V2X i övriga länder	26
5.2 Forskning och utveckling av V2X i Europa	27
5.2.1 Danmark	27
5.2.2 Storbritannien	27
5.2.3 Nederländerna	28
5.2.4 Särskilda satsningar	29
6 Utmaningar och framtida forskningsbehov	31
6.1 Elbilens roll i elsystemet	32
6.2 Hur påverkas batteriet av dubbelriktad laddning?	33
6.3 Hur kommer elbilar att laddas framöver?	34

6.4 Identifierade utmaningar för affärsmodeller	35
6.5 Sociala utmaningar och behov av ökad kunskap om beteende	36
6.6 Regulatoriska utmaningar	37
6.7 Övriga utmaningar och forskningsbehov	38
7 Standarder - Nuläge och behov av utveckling	39
8 Slutsatser och rekommendationer	43
Referenslista	45
Bilaga A Medverkande respondenter	51



1 Bakgrund och syfte

Denna syntesrapport är framtagen av Power Circle inom ramen för det upphandlade stödprojektet Sprida SamspeL och ska bidra till att ge Energimyndigheten en översiktlig sammanställning av pågående forskning, finansiärer av forskningen och behovsområden för framtida forskning på området dubbelriktad laddning, eller V2X. Dessutom ska syntesrapporten återge en överblick av hur forskningen tillämpas i praktiken, vilka projekt som pågår inom industrin samt hur arbetet med standardisering fortskrider inom området. Utöver detta ska syntesrapporten ge en kort internationell utblick relaterad till forskningsområdet, illustrerad främst av ett antal exempel som pekats ut som särskilt intressanta att dra lärdom av.

1.1 Avgränsningar och frågeställningar

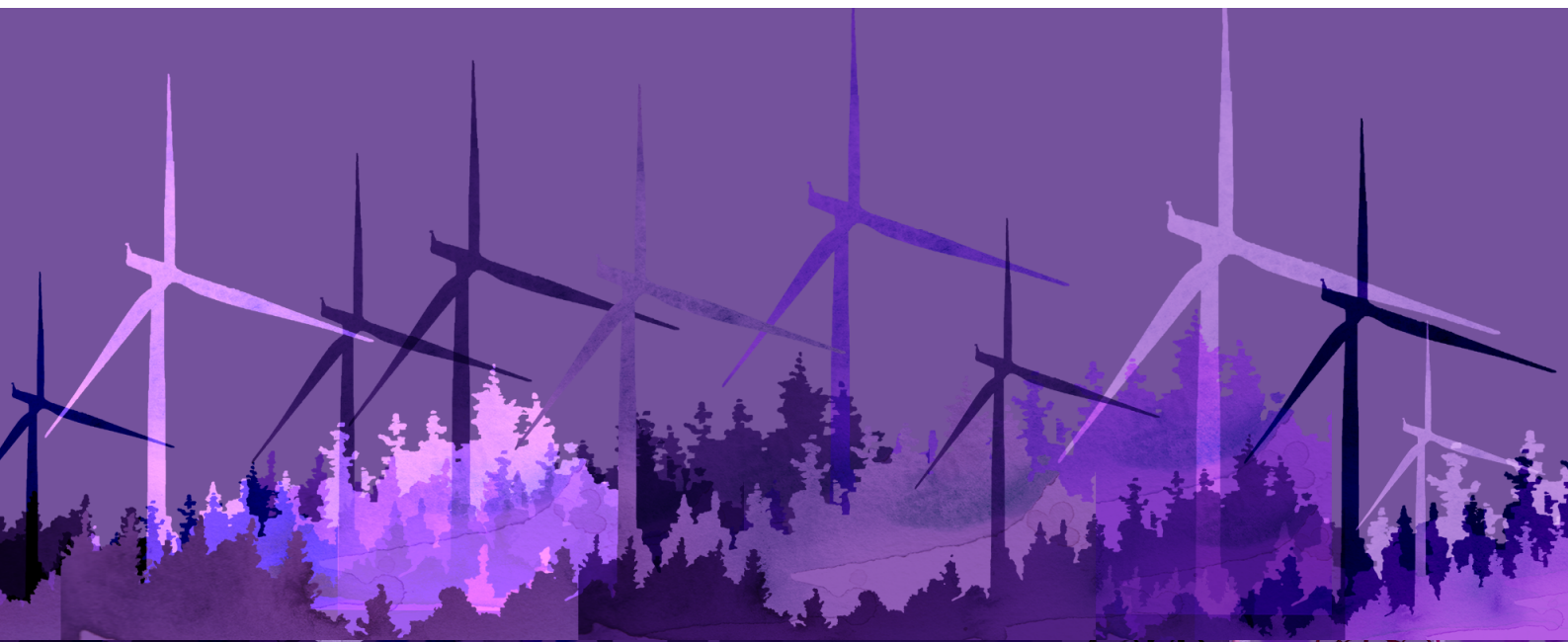
Rapporten berör i huvudsak V2X från personbilar. Begreppet V2X avgränsas i denna rapport till att gälla fordonens utbyte av el med det omgivande elsystemet och som kraftkälla för olika fristående applikationer. Begreppet V2X innefattar bland annat V2G (Vehicle to Grid), V2H (Vehicle to Home), V2B (Vehicle to Building), V2L (Vehicle to Load) och V2V (Vehicle to Vehicle). I huvudsak fokuserar denna rapport på V2G denna tillämpning anses ha störst relevans för forskningsprogrammet SamspeL och Energimyndighetens nya forsknings- och innovationsprogram Framtidens Elsystem, men även andra tillämpningar berörs.

Syntesrapporten avser besvara följande frågeställningar som Energimyndigheten formulerat i sin uppdragsbeskrivning:

- Vilka frågor/områden med koppling till V2X bedrivs det aktivt forskning och utveckling inom i Sverige idag?
- Hur tillämpas den forskning och utveckling som bedrivs praktiskt?
- Vad händer i industrin på området V2X? Vilka projekt bedrivs inom näringslivet?
- Vad är nuläget gällande standardisering och vad behövs framåt?
- Vilka finansierar vilka forskningsområden av den forskning som bedrivs inom området V2X i Sverige idag? Har det skett några särskilda satsningar på området?
- Vilket behov av forskning och resurser inom V2X finns i Sverige idag?
- Vad görs internationellt inom V2X? Förekommer internationellt samarbete med svenska aktörer?

Syntesrapporten avser även att efter bästa förmåga besvara ett antal kvantitativa frågeställningar kring forskningsområdet, vilka inkluderar:

- Vilka lärosäten/aktörer/organisationer bedriver vilken forskning kring V2X i Sverige idag?
- Vilka finansierar vilka forskningsområden av den forskning som bedrivs inom området V2X i Sverige idag? Har det skett några särskilda satsningar på området?
- Inom vilka discipliner (t.ex. teknik, nationalekonomi, beteendevetenskap) är forskarna och doktoranderna aktiva?
- Hur många forskare (från PhD till professor) och doktorander forskar aktivt på ämnet idag?
- Hur är könsfördelningen mellan de aktiva forskarna inom ämnet?



2 Genomförande

2.1 Förstudie

Inför arbetet med syntesrapporten genomfördes en förstudie i januari 2023. Förstudien bestod av två informella intervjuer med personer från Energimyndigheten och Chalmers samt intervjuer med områdesexperter hos Power Circle. Utifrån de inspel som uppkom under intervjuerna bildades en första översikt av området, och relevanta ämnesområden för syntesrapportens kartläggning identifierades. Vid intervjuerna gavs också rekommendationer på relevanta respondenter att kontakta för vidare intervjuer.

2.2 Intervjustudie

För att besvara rapportens frågeställningar har 16 semistrukturerade intervjuer genomförts under tidsperioden januari–april 2023 (se specifikation i Bilaga **A**). Respondentgruppen består av forskare, finansiärer av forskningen, samt aktörer från näringslivet och offentlig sektor som arbetar med frågor kopplade till området. Intervjufrågorna har utformats med avsikt att kunna använda respondenternas svar som huvudsakligt underlag för kartläggning av pågående forskning inom området, nuvarande finansiärer, särskilda satsningar som har genomförts, och identifiering av framtida forskningsbehov.

Respondenterna till intervjustudien har inledningsvis valts utifrån de förslag som uppkom i förstudien, och utifrån Power Circles initiala kännedom om aktörer inom området. Ytterligare respondenter har tillkommit under studiens gång på rekommendation av intervjuade respondenter. Respondenterna från näringslivet representerar olika aktörsperspektiv kring dubbelriktad laddning; bland de svarande finns representation från elnätsbolag, teknikleverantörer och tjänsteleverantörer på elmarknaden. I respondentgruppen finns också representanter från de organisationer som de intervjuade forskarna har identifierat som centrala finansiärer av forskning på området.

2.3 Skrivbordsstudie

En skrivbordsstudie har även genomförts för att studera pågående forskning och kompletterande skriftliga referenser som uppgivits av intervjustudiens respondenter. Referenserna har inkluderat interna underlagsrapporter samt annan publicerad skriftlig information om pågående forskning.

2.4 Rundabordssamtal

För att samla in ytterligare aspekter anordnades ett rundabordssamtal på temat V2X där Power Circles bjöd in aktörer från sitt nätverk att komma med inspel på preliminära resultat. På mötet deltog ca 30 aktörer från elnätsbolag, biltillverkare, branschorganisationer, teknikleverantörer, studenter, aggregatorer, laddoperatörer och laddinfrastrukturtillverkare mfl. Diskussioner fördes i grupper där deltagarna fick svara på frågor om hinder och möjligheter för V2X, liksom upplevd mognadsgrad för olika tekniker.

2.5 Analys av inhämtad information

Utifrån respondenternas svar i intervjustudien, resultat från rundabordssamtal och workshop samt skrivbordsstudiens referensunderlag, har en analys av gjorts för att besvara frågeställningarna i syntesen. Informationen som presenteras i syntesrapporten reflekterar därmed till viss del de intervjuade individernas, respektive de representerade organisationernas, svar på frågor som ställts i intervjustudien eller rundabordssamtalet. Analysen syftar till att skapa en översiktlig bild över nuläget och framtida forsknings- och finansieringsbehov.



3

Bakgrund och definitioner

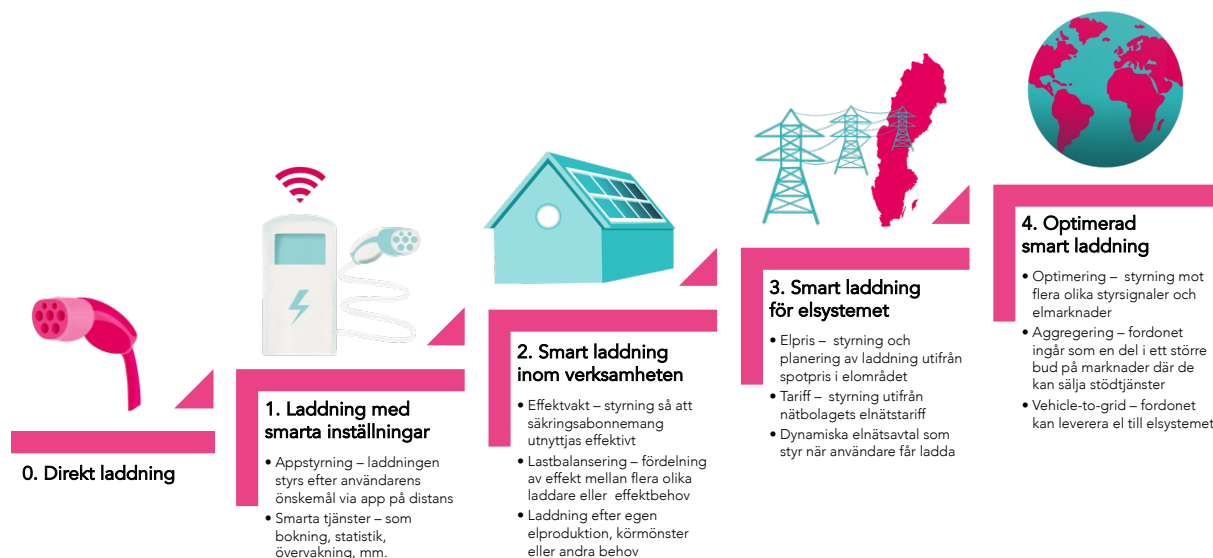
I detta kapitel ges en kort introduktion till vad tekniken innebär, olika definitioner och en historisk tillbakablick.

3.1 Bakgrund

Elbilarnas batteri och kraftelektronik är resurser som kan användas till fler saker än att driva bilen. En elbil kan till exempel nyttjas som energilager för att lagra eller flytta energi, som back-up lösning för att driva en byggnad eller ladda en annan bil i nödlägen, eller som effektresurs för att erbjuda stödtjänster till elnätet – om den har stöd för det. Tekniken att använda bilens batteri som kraftkälla är under utveckling och kallas ofta Vehicle to Grid (V2G), Vehicle to Home (V2H) eller Vehicle to Everything (V2X). Att integrera elbilar i nätet kräver dock innovation i många led. Kunderbudande, affärsmodeller och digitalisering behöver utvecklas. Det kräver hårdvara och mjukvara både i bil och laddare, likväl som i elnätet där mätare och styrutrustning behövs. Flera aktörer kan komma att ta nya roller som tjänsteleverantörer. V2X har dock potential att bidra med många nyttor i elsystemet, exempelvis att optimera situationen för bilägaren bakom mätaren, hantera flaskhalsar åt lokalnätsägaren, ge flexibilitet till balansansvarig eller bidra med frekvensreglering och andra stödtjänster till elsystemet.

Produktion och efterfrågan behöver hela tiden vara i balans i elnätet, vilket ställer högre krav på flexibilitet och stödtjänster i takt med att andelen variabla, förnybara kraftslag ökar i produktionsmixen. I takt med att elsystemet förändras utvecklas också olika aktörers roller, behov och förväntningar på både reglerande parter och marknadsaktörer. Samtidigt pågår det en elektrifiering av transportsektorn där antalet elfordon ökar i alla segment. Utvecklingen drivs på av starkt politiskt stöd från EU och i Sverige, sjunkande kostnader för fordon, högre acceptans hos konsumenter och skarp strategier hos fordonstillverkarna. Den historiska trenden visar en tydlig exponentiell utveckling och scenarion pekar på att en majoritet av försäljningen av nya fordon år 2030 kan gå på el [1].

En stor andel elbilar riskerar att skapa en hög belastning på elnätet om många vill ladda samtidigt [2]. Elektrifieringen har också lett till att vissa konsumenter förändrar sina belastningsmönster, exempelvis genom investeringar i elbilar, vilket riskerar att orsaka kapacitetsproblematik i elnätet. Därför är det viktigt att integrera transportsektorn med elsystemet och se till att elbilarna kan bidra med lösningar snarare än med problem. [3] Power Circle har tagit fram en trappa för olika nivåer av integration mellan elbilarna och det omkringliggande energisystemet, se figur 1 [4].



Figur 1: Laddtrappa som beskriver olika nivåer av smart laddning

3.2 Definitioner

Smart laddning (även kallat V1G) och V2X är båda viktiga komponenter för att minska belastningen på elnätet från elbilsflottan och frigöra tjänster till elsystemet, och enligt definitionen ovan kan V2G räknas som en del av smart laddning. En viktig skillnad är att vid V1G kan energin bara flöda åt ett håll, dvs enkelriktat, medan V2X innebär att energin kan flöda i båda riktningarna, dvs dubbelriktad laddning.

V2X, även kallat Vehicle to Everything, är ett brett begrepp som innefattar olika sätt att leverera el från bilen till omgivande system. Begreppet används dels för att beskriva att bilen kan överföra energi från batteriet till olika system, vilket är fokus för denna syntes, men det används även inom kommunikationsområdet för att beskriva informationsutbyte mellan fordon och smart transportinfrastruktur. I den här syntesen används V2X som samlingsnamn för att beskriva de sekundära tjänsterna som integreringen mellan batterier i elbilar och elsystemet kan bidra med [5]. För att minska risken att blanda ihop begreppet med överföring av kommunikation, används ofta begreppet dubbelriktad laddning eller bidirektionell laddning inom exempelvis fordonsindustrin.

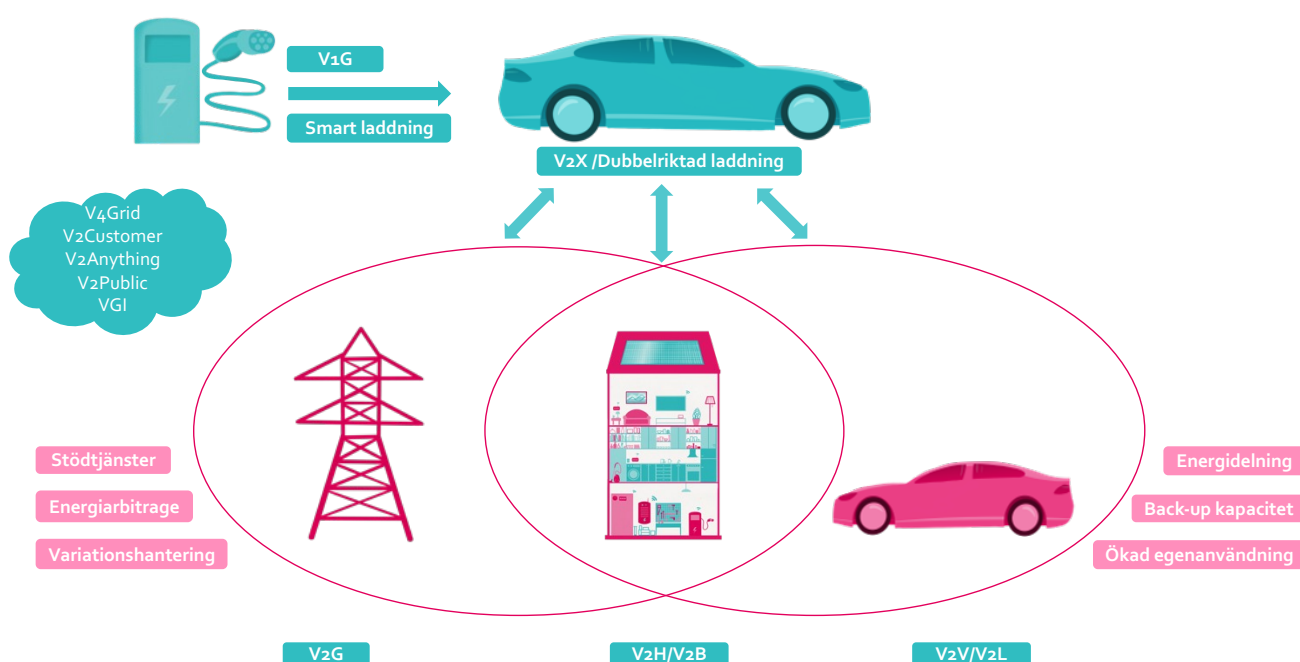
Vehicle to Grid (V2G), även kallat Vehicle-Grid-Integration (VGI) i USA [6], innebär att fordonet är anslutet till elnätet och kan bidra med tjänster till aktörer anslutna till elsystemet [7]. Optimalt integrerad V2G leder till klimatmässiga och ekonomiska vinster för konsumenter och alla inblandade aktörer samt bättre möjligheter att hantera elsystemet [8]. V2G kan bidra genom att hjälpa lokala och regionala elnätsbolag (DSO) med kapacitetsutmaningen, bidra med stödtjänster till systemoperatörer (TSO) och energihandel med balansansvariga (BRP) [6]. Exempel på nyttor som V2X kan bidra med är att leverera reaktiv effekt, spänningsreglering och

frekvensreglering, samt genom energiarbiterage [5] [6]. Vehicle for Grid (V4G) används ibland som benämning när fordonet bidrar med stödtjänster till elnätet [9]. För att möjliggöra dessa tjänster behövs det aggregatorer som kan samordna flera fordon [5] [6].

Vehicle to Home (V2H) och Vehicle to Building (V2B) är två liknande applikationer där batteriet i elbilen är anslutet till en laddare bakom mätaren i en byggnad [6]. I litteraturen används även Vehicle to Customer (V2C) som ett samlingsnamn för att beskriva V2H och V2B [10]. V2H innebär att elbilen är ansluten till en laddare bakom mätaren i ett hushåll [11]. Tekniken kan användas för att öka egenanvändningen av förnybar el, förskjutning av lastkurvan eller som backup vid strömbrott [5]. V2B innebär istället att fordonet är anslutet till en laddare bakom mätaren i en kommersiell fastighet [11]. I litteraturen används även Vehicle to Business [3]. Bakom mätaren kan batteriet användas för att sänka energikostnader för byggnadens användare och maximera användningen av egenproducerad el [6]. Batteriet kan också användas för att förse byggnaden med el vid strömbrott [6]. Det krävs dock rätt utrustning för att det ska vara möjligt, vilket gör att V2B/V2H ofta innebär att bilen fortfarande är uppkopplad till elnätet, men det är inte nödvändigt.

Vehicle to Vehicle (V2V) eller Vehicle to Load (V2L) innebär att ett elfordon kan ladda ett annat fordon eller en annan last utan tillgång till elnätet. Det är en funktion som kan bli viktig framöver när fordon behöver laddas utmed vägen och inte har tillgång till en laddstation. [12]

En annan viktig distinktion är att dubbelriktad laddning, eller bidirektionell laddning, även kan syfta strikt på tekniken att kunna mata ut el från bilen, medan begrepp som V2H, V2G m.fl. snarare syftar på tjänsterna som levereras till omkringliggande system. Skillnaden mellan olika typer av V2X och exempel på nyttor de kan leverera illustreras i figur 2. Utöver dessa begrepp förekommer flera andra, som exempelvis V2P (Vehicle to Public), Vehicle to Depot (V2D) och Vehicle to Business mfl.



Figur 2 Exempel på nyttor som olika tillämpningar av V2X kan bidra med.

3.3 Potentiella nyttor med dubbelriktad laddning

I teorin är potentialen för att frigöra flexibilitet till elsystemet genom dubbelriktad laddning väldigt stor. I en rapport av NEPP [13] uppskattades 3,8 miljoner laddbara bilar ha en gemensam batterikapacitet om 114 GWh, vilket ger en teoretisk potential på 114 GW i en timme. Det kan jämföras med att Sveriges behov under topplasttimmen den kallaste vinterdagen kan vara mellan 25–30 GW. I verkligheten kommer flexibilitetspotentialen begränsas av olika faktorer som exempelvis hur stor andel av fordonen som står parkerade vid en laddare, vilken effekt laddarna har fordonens state-of-charge, samt hur länge de förväntas stå stilla innan de används nästa gång. Hela batterikapaciteten kommer med andra ord sällan vara tillgänglig, men om en miljon fordon upplåter 10 kWh (ca 15 %) från sitt batteri räcker det för att under 20 minuter ge omkring 30 GW till nätet [14].

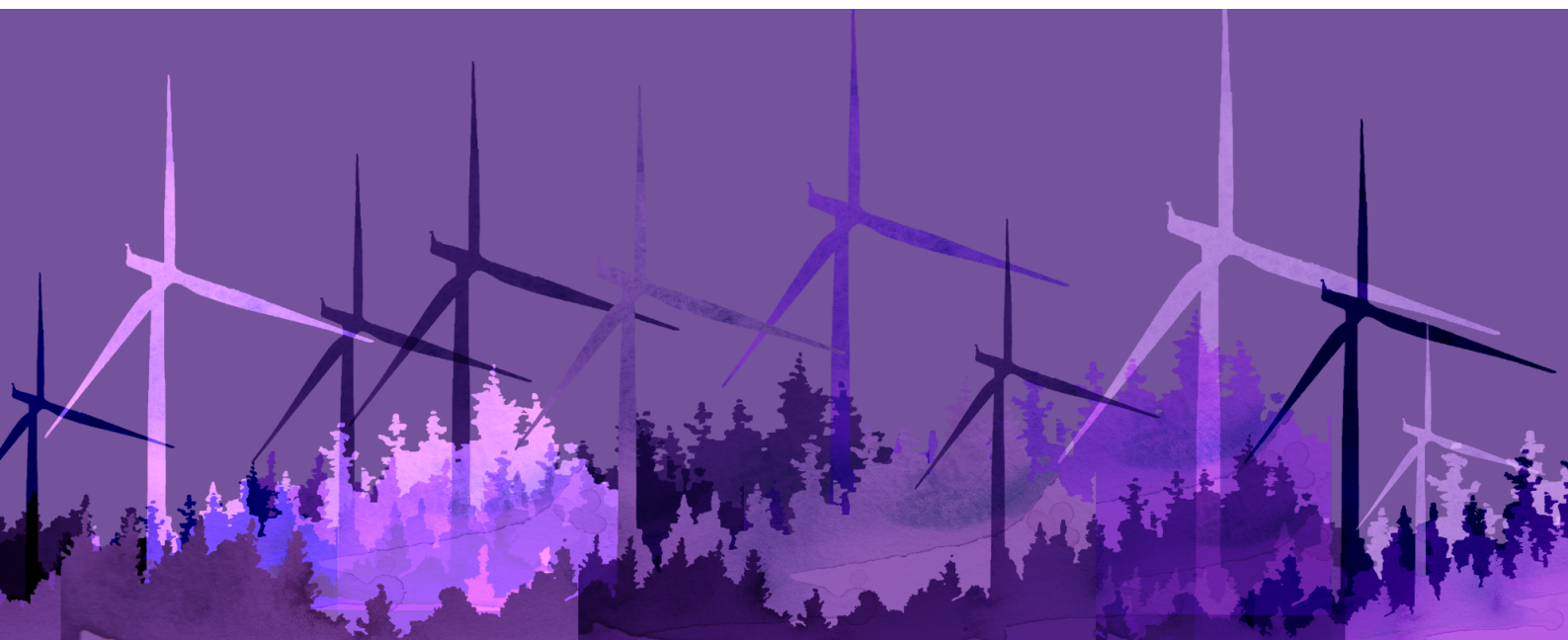
Dubbelriktad laddning möjliggör för flera tjänster som gynnar både elnätet, fordonsägaren och övriga intressenter [5]. Majoriteten av dessa tjänster erbjuds när bilen står stilla [5], vilket privata personbilar typiskt gör 90–96 % av tiden, antingen hemma eller på jobbet [3] [8] [10]. Samtidigt som de sekundära tjänsterna från elbilsbatterier kan skapa systemnytta finns dock även en risk att planering och drift av elnätet blir mer komplext [5]. Dubbelriktad laddning kräver hårdvara i form av extra kraftelektronik som kan omvandla bilens likström till växelström som finns i elnäten. Denna hårdvara kan sitta antingen i laddboxen eller i bilen, och vilken lösning som väljs påverkar både kostnadsbilderna samt vilken information som behöver utbytas med det omkringliggande systemet, exempelvis kring var bilen befinner sig (om kraftelektroniken sitter i bilen) eller vilken bil som är kopplad till laddboxen (om kraftelektroniken sitter i laddboxen). Dessutom behövs mjukvara för att utbyta data mellan bilen, laddaren och det omkringliggande systemet, exempelvis elavtal, nättariff, debiteringsinformation, laddnivån i bilen (State of Charge, eller SoC) och annan tekniska data.

3.4 Historisk utveckling av dubbelriktad laddning

Konceptet V2X har diskuterats i litteraturen sedan slutet av 1990-talet, även om terminologin då inte utvecklats att omfatta alla begrepp som förekommer i dag [15]. Japan var bland de länder som var tidigast ute för att utveckla och testa V2X i praktiken, och Nissan Leaf kom redan 2012 med konceptet Leaf-to-Home, då framförallt som möjlig backup-kraft, vilket var ett högaktuellt ämne i landet efter tsunamin som lämnade 4,4 miljoner hem strömlösa i norra Japan 2011. De japanska biltillverkarna tog tidigt täten i utvecklingen av V2X och den japanska laddstandarden CHAdeMO har sedan 2014 haft funktionalitet som gjort V2G tillgängligt. De första pilotprojekten kring dubbelriktad laddning har således genomförts med bilar med CHAdeMO-laddning, främst Nissan Leaf som länge var den enda bilen på marknaden med stöd för dubbelriktad laddning [14]. Majoriteten av biltillverkarna använder idag dock de europeiska laddstandarderna CCS (likström) och Typ 2 (växelström) och behöver implementera nya standarder innan det är möjligt att implementera V2X i stor skala.

Historiskt har länder som USA, Storbritannien, Danmark, Frankrike och Nederländerna varit pådrivande för utvecklingen av V2G. Även i Japan har flera projekt förekommit, men generellt har den Asiatiska marknaden varit mer inriktad på V2H/V2B. År 2019 fanns ca 70 projekt kring V2G globalt, varav 90% i EU, USA och Japan [6]. En sammanställning av 50 projekt från 2018, varav 25 fanns i Europa, 18 i Nordamerika och 7 i Asien, drog slutsatsen att de flesta forskningsstudier och projekt var fokuserade kring tekniska aspekter, några tog även hänsyn till affärsmodeller och ett fåtal till sociala aspekter, men det senare lyftes upp som ett eftersatt område [11].

I Sverige började småskaliga tester av V2G i Örebro och Kungsbacka under 2018. I Örebro installerade Örebrobostäder AB en laddare i en av sina fastigheter för att testa tekniken och undersöka möjligheten till att optimera fastighetens energisystem [16]. Testet i Kungsbacka är något större där 10 st laddare installerades i ett samarbete mellan Nissan, E.ON och kommunen [17]. Även detta med en Nissan Leaf-bilar och laddare med CHAdeMO-kontakter.



4

Forskning och utveckling av V2X i Sverige i dag

I detta kapitel besvaras frågor om vad den svenska forskningen om V2X innehåller i termer av frågeställningar och forskningsområden, vilka som bedriver forskningen, vilka som finansierar den, vilka större satsningar som gjorts samt vilka projekt som identifierats.

4.1 Tematiska forskningsområden

Respondenter har nämnt att det har skett en stor utveckling av både intresset och tekniken de senaste 5–10 åren. Vid svenska universitet och högskolor samt inom näringslivet pågår det forskning och utveckling inom flera områden som bidrar till realisering av dubbelriktad laddning. Flera av respondenterna från näringslivet och akademien tror att tekniken för V2X kommer att finnas tillgänglig på marknaden i mindre skala inom 1–3 år, där vissa poängterar att tekniken för V2H i princip finns här och nu. Däremot tror majoriteten av respondenterna att det kommer ta 3–5 år innan allt finns på plats för storskalig implementering. Det nämns också att utvecklingen har blivit försenad till följd av pandemin och efterföljande komponentbrist, samt att mycket av fokus har legat på att rulla ut en elektrisk fordonsflotta och tillhörande laddinfrastruktur.

För att skapa en uppfattning om vilka frågeställningar som aktörerna arbetar med i dagsläget har respondenter fått berätta om pågående projekt. Utifrån detta har fem tematiska forskningsområden identifierats. I enlighet med vad som har beskrivits ovan har en stor del av projekten historiskt haft ett tekniskt fokus, men allt fler börjar fokusera på affärsmodeller, beteendefrågor, lagar, policy och standarder samt vad som krävs för storskalig implementering.

Teknikutveckling

Det pågår projekt med att utveckla hård- och mjukvara i bilar, lokala likstömsnät och laddinfrastruktur som möjliggör för dubbelriktad laddning, batteritekniker och analys av påverkan av dubbelriktad laddning och utveckling av batterihanteringsystem (BMS) för att optimera livslängden, utveckling av både ombordladdare (AC) och laddstolpar (DC). Parallellt förs också en diskussion om för- och nackdelar med de olika teknikvalen.

Elbilens roll i elsystemet

Ett pågående arbete är att identifiera och förstå vilka konsekvenser sektorskopplingen av transportsektorn och elsystemet kan få; dels vilka negativa effekter som kan uppstå, dels vilka möjligheter dubbelriktad laddning har som resurs. Det görs teoretiska beräkningar av vilken påverkan laddning av elbilar har på elnätet, samt vilka möjligheter det finns att använda dubbelriktad laddning för att avlasta elnätet genom styrning och genom att erbjuda olika tjänster. Tekniken jämförs också med stationära batterier och vätgas. För att optimera bilen som

en resurs i elnätet pågår utveckling av styralgoritmer för att svara på frågor som "Vad händer om aktörer styr laddning på elpris?", "Klarar nätet av den efterfrågan som kan uppstå om många börjar ladda samtidigt i ett område?", "Vilken roll har elbilen på olika nivåer i nätet?", "Hur ska styrsystem utformas för att ta hänsyn till begränsningar i nätet" Hur ska alla nätkoder ska följas", och "Hur kommer potentialen att påverkas av olika mobilitetstrender?".

Användarstudier och beteendefrågor

Frågor som undersöks är vilka hinder, barriärer och incitament som aktörer i värdekedjan upplever. Det pågår studier med fokus dels på att identifiera individers åsikter, betalningsvilja och kunskap om tekniken, dels på att undersöka elbilars körmonster och vilka tider som de står stilla för att kunna bygga datamodeller i andra projekt baserat på verkliga data. Fokus ligger ofta på frågor om vilka drivkrafter konsumenterna har för olika tillämpningar.

Affärsmodeller

Affärsmodellernas utformning är beroende av vilka drivkrafter som identifieras bland aktörer, elbilens potential som resurs till elsystemet, vilka teknikval som görs och elmarknadens utveckling. En fråga som studeras är hur intäktsmodeller ska designas för att fungera långsiktigt. En annan komplex fråga som undersöks är hur affärsmodeller ska utformas beroende på tillämpning (V2G, V2H eller V2B) samt vem som äger bilen – privat, leasad, eller bilpool. I dessa olika fall förändras incitament och antalet inblandade kravställande aktörer. Dels ställer föraren av bilen krav på att det ska finnas en viss laddning när de ska använda fordonet. På de bilmodeller där det är möjligt med dubbelriktad laddning finns det krav på hur batteriet får användas. Efter att alla inblandade aktörer har ställt sina krav så ska resursen från batteriet dessutom matchas med det efterfrågade behovet – energiärlage, stödtjänster eller som backup-kapacitet.

Lagar, policy och standarder

Det drivs även projekt med syfte att identifiera vad som behöver utvecklas inom lagar, policy och standarder för att möjliggöra storskalig implementering av dubbelriktad laddning i stor skala. Många av de standarder som finns i dagsläget stödjer inte dubbelriktad laddning och det pågår arbete med att uppdatera flera av dem, samt att utveckla nya (se kap 7 om standarder). Inom lagstiftning lyfts det fram att det finns lagar och regler som inte gynnar dubbelriktad laddning och att det finns vita fläckar som behöver redas ut.

4.2 Identifierade aktörer som bedriver forskning och utveckling

Forskning och utveckling på området bedrivs inom akademi, näringsliv och inom offentlig sektor. Bland respondenterna i intervjustudien finns forskare verksamma vid Chalmers tekniska högskola, Uppsala universitet, Lunds tekniska högskola, Göteborgs universitet och RISE, men även inom industrin och energibranschen. De forskare som har intervjuats har bakgrund inom elektroteknik, automationsteknik, reglerteknik, energisystem, nationalekonomi, energi- och miljöteknik, och företagsekonomi.

Baserat på respondenternas svar varierar antalet som arbetar med frågor som relaterar till dubbelriktad laddning från organisation till organisation. Inom större bolag är det fler som arbetar med frågan men inom akademien är det ett mindre antal inom de organisationer som har identifierats. Utifrån svaren från intervjuerna ökar antalet personer som arbetar med frågor kopplat till dubbelriktad laddning i stadig takt till följd av att allt fler projekt får finansiering och tekniken närmar sig marknaden. Jämställdheten mellan kvinnor och män har nämnts som god i de flesta fallen och det uppges finnas ett stort intresse bland kvinnor vid nyrekrytering. Inom både akademien och från näringslivsaktörer har det nämnts flera gånger att allt fler examensarbeten bedrivs på området och att många unga personer är intresserade av frågor som rör e-mobilitet och V2X.

Utifrån respondenternas intervju svar bedrivs forskning gällande dubbelriktad laddning troligtvis på många tekniska högskolor och universitet i Sverige. Utifrån intervjuerna har Chalmers tekniska högskola, Uppsala universitet och RISE identifierats som större aktörer på området och som arbetar med flera olika perspektiv inom området. Ytterligare aktörer som har identifierats är Göteborgs universitet, KTH, Lunds tekniska högskola, Linköpings universitet, Uppsala universitet, VTI och Lindholmen Science Park.

Chalmers tekniska högskola

Vid Chalmers bedrivs forskning om dubbelriktad laddning med störst fokus på tekniska frågor och elbilens potential som en resurs till elnätet, men även frågor om affärsmodeller och beteende studeras. På Chalmers har forskning kring dubbelriktad laddning identifierats vid institutionen för elkraftteknik, som är indelad i *Elnät och komponenter* samt *Elmaskiner och kraftelektronik*, och vid institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap. Exempel på frågor som studeras är teknikutveckling, utveckling av algoritmer för att styra batteriet utifrån marknadsförutsättningar och minimera påverkan på batteriet, elbilens möjlighet att balansera elsystemet och hur tekniken står sig jämfört med stationära batterier eller vätgas. Forskare vid Chalmers deltar bland annat i flera pågående projekt på området, såsom "V2X-MAS", "SCALE", "PEPP", "Loggning av elbilsanvändning - karakterisering av kör- och laddmönster och påverkan på elnätet" samt "Ett Elsystem för Elfordon". Representanter från Chalmers finns också i kompetenscentrumen Swedish Electromobility Centre (SEC) och Swedish Electricity Storage and Balancing Centre (SESBC) samt testanläggningarna Swedish Electric Transport Laboratory (SEEL), se kapitel 4.5 större satsningar för mer info.

Research Institutes of Sweden (RISE)

Vid RISE har forskning med fokus på dubbelriktad laddning identifierats på avdelningarna *Elektromobilitet* och *Mobilitet i transformation*. Där bedrivs projekt med fokus på integrering av elbilar i elsystemet, teknikutveckling, beteende, affärsmodeller, lagar och policys. Exempel på frågor som studeras är integrering av V2G i elkraftsystemet, utvecklingen av affärsmodeller och hur de ska utformas, användarstudier och beteendefrågor med fokus på incitament för att konsumenterna ska använda tekniken och hur de upplever den samt juridiska förutsättningar för att utveckla lagar och policys för tekniken i Sverige. RISE deltar bland annat i

forskningsprojekten "Dansmästaren", "SCALE" och "PEPP". Majoriteten av projekten som RISE deltar i sker i samarbete med näringslivet. Representanter från RISE finns också i kompetenscentrumen SEC och SEEL.

Uppsala universitet

Vid Uppsala universitet har forskningsfrågor inom teknik, beteendevetenskap och affärsmodeller identifierats. Forskningen bedrivs på institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik vid avdelningen *industriell teknik*, *USER – Uppsala Smart Energy Research group*, och institutionen för elektroteknik vid avdelningen *Elektricitetslära*. Exempel på frågor som studeras är utvecklingen av laddningsstrategier, modellering av i- och urladdning och dess påverkan på batteriet, acceptans och incitament kring vad som krävs för att bidra med dubbelriktad laddning och arbete med att möjliggöra kommunikation mellan alla system. Uppsala deltar bland annat i projekten "Dansmästaren", "UppFlex2 och "Laddningsstrategins inverkan på elbilens batterisystem (LIEB)". Representanter från Uppsala finns också i kompetenscentrumen SEC och SESBC.

Göteborgs universitet

Vid Göteborgs universitet analyseras affärsmodeller för dubbelriktad laddning på företags-ekonomiska institutionen. Exempel på frågeställningar som undersöks är hur affärsmodeller ska utvecklas för att möjliggöra implementering av laddinfrastruktur genom privata intressen, hur affärsmodellen ser ut för olika aktörer och hur affärsmodellen ska utvecklas i fall där det finns många aktörer inblandade. Majoriteten av alla frågor undersöks i samarbete med aktörer från näringslivet. Göteborgs universitet deltar bland annat i "Ett elsystem för elfordon".

Lunds universitet

Vid Lunds Tekniska högskola finns profilområdet Energiomställning – el och transport. Inom profilområdet har forskning fokus på dubbelriktad laddning identifierats vid avdelningen för *Industriell elektroteknik och automation* samt vid avdelningen *Miljö- och Energisystem*. Nyligen fick en doktorandtjänst med projektnamn "Managing grid capacity with energy storage" finansiering via SESBC och projekt, "Vehicle-Grid Interaction from a policy perspective" fick finansiering via SEC. Representanter från Lund finns också i kompetenscentrumen SEC och SESBC.

4.3 Näringslivsaktörer

Näringslivsaktörer deltar i forsknings och utvecklingsprojekt tillsammans med akademien samt bedriver interna projekt. Aktörer som har identifierats i studien är biltillverkare, aktörer som utvecklar hård- och mjukvara för laddboxar, energi- och elnätsbolag, aggregatorer, fastighetsbolag, standardiseringsorganisationer, samt aktörer som är intresserade av att implementera dubbelriktad laddning i sina fastigheter.

De aktörer som bedriver teknikutveckling arbetar med att utveckla bilar och laddinfrastruktur för att möjliggöra dubbelriktad laddning, höja sin kunskap om vad som krävs för att ansluta mobila resurser till elnätet, implementera standarder, öka sin förståelse för regelverk och hur produkter

ska certifieras, vad som krävs för att följa nätkoder, utveckla affärsmodeller samt förstå vilken roll på marknaden de kan ta framöver.

Elnätsbolagen är medvetna om att dubbelriktad laddning kommer att påverka deras nät vid en storskalig implementering av tekniken. Det pågår en dialog mellan de större elnätsbolagen där de diskuterar hur V2X kan komma att påverka elnätet vid storskalig implementering samt vad de kan göra för att minimera risken för problem i nätet och istället möjliggöra för att kunna utnyttja resursen. I dagsläget kan elnätsbolag inte se skillnad på om det är ett vanligt batteri eller ett bilbatteri som är anslutet. Det anges inte som ett problem i nuläget, men flera aktörer lyfter att det kan bli en utmaning att hantera om en aggregator börjar sälja el från flera tusen olika resurser på samma klockslag eller om många börjar ladda i eller ur batteriet samtidigt till följd av samma prissignal. Elnätet behöver hela tiden vara i balans och börjar någon mata in el på nätet måste behovet öka alternativt att annan last kopplas bort.

Respondenter från näringslivet uppger att det på det stora hela finns en god dialog mellan aktörer i olika delar av värdekedjan. Exempel som har nämnts är att flertalet aktörer från transportsektorn för en dialog med elnätsbolag för att öka sin förståelse för elsystemet och vilka faktorer som de behöver ta hänsyn till vid elektrifiering av fordon. Det ska också tilläggas att det är en ny marknad som håller på att växa fram där aktörer inte vet vilka roller de kommer ta framöver, som medför att det finns frågor som är känsliga att diskutera ur ett konkurrensperspektiv. Samarbetet mellan näringslivet och akademien uppges också fungera bra. Näringslivet är delaktiga i flera forskningsprojekt som koordineras av akademien där de utvecklar tekniken, deltar i styrgrupper för forskningsprogram, samt bistår med kompetens och finansiering till olika satsningar och projekt som ligger inom ramarna för verksamheternas egna intressen. Ett tydligt exempel på detta är Swedish Electromobility center, där näringslivet är med och finansierar samt har möjlighet att lyfta frågor som de står inför och utveckla projekt i dialog med akademien.

4.4 Finansiärer

Baserat på svaren i intervjustudien finns det ett fåtal olika aktörer som finansierar forskningen i dagsläget. Bland respondenterna är det vanligast att den forskning de bedriver finansieras av svenska aktörer, men det förekommer också EU-finansiering och finansiering från andra länder. Respondenterna till intervjustudien har svarat att följande aktörer har finansierat forskning på området:

- Energimyndigheten
- EU-finansiering
- Energiforsk
- Norska Trafikverket
- Trafikverket
- Näringslivsaktörer

Energimyndigheten tillsammans med näringslivsaktörer är de finansiärer som har nämnts som den vanligaste källan till finansiering av forsknings- och utvecklingsprojekt inom området. Respondenter har nämnt att det inte känner till att det har funnits någon enskild utlysning som

fokuserar på dubbelriktad laddning i Sverige. I stället har finansiering sökts i generella utlysningar. Energimyndigheten har finansierat projekt inom följande forskningsprogram:

- Uppdrag att stödja forskning och innovation inom elektromobilitet
- Framtidens elsystem
- SamspeL
- FFI Nollutsläpp

Energimyndigheten finansierar också de nationella kompetenscentrumen Swedish Electromobility center (SEC) och Swedish Electricity Storage and Balancing Centre (SESBC) samt testanläggningarna inom Swedish Electric Transport Laboratory (SEEL). Inom SEC finns det möjlighet att söka pengar för projekt med fokus på hur elfordon interagerar med elnätet.

4.5 Större satsningar

Nedan presenteras större satsningar som har identifierats under syntesarbetet. Satsningarna består av forskningscentrum där kompetens och långsiktiga forskningsmiljöer kan byggas upp, samt av testanläggningar.

4.5.1 Swedish Electromobility Centre (SEC)

År 2007 grundades Svenskt el- och Hybridfordonscentrum (SHC) av Energimyndigheten i partnerskap med svensk fordonsindustri och akademi. År 2017 bytte kompetenscentrumet namn till Swedish Electromobility Center. SEC är ett nationellt forskningscentrum för e-mobilitet som samlar kompetensen i Sverige och skapar en plattform där akademien, industrin och samhället samverkar. Målet är att utveckla och optimera nuvarande och kommande e-mobilitetslösningar ur både miljö- och energisynpunkt. Inom SEC undersöks alla typer av elfordon, såsom personbilar och tunga lastbilar, men även fartyg för luft och sjötransporter, landbaserade- och havsbaserade-fordon och flygplan. [18] Centrumet finansieras av Energimyndigheten tillsammans med fordonsindustrin och akademien. Forskningscentrumet fokuserar på fem olika temaområden [19]:

1. Systemstudier och metoder
2. Elektriska maskiner, drivsystem och laddning
3. Energilagring (inklusive bränsleceller)
4. Elektromobilitet i samhället
5. Samverkan mellan fordon och elnätet

Inom varje temaområde finns en grupp med specialiserade representanter från näringslivet och forskare som tillsammans diskuterar utmaningar. Tillsammans utformar de forskningsprojekt som är relevanta för respektive temaområdet. [19]

Temaområde 5, Samverkan mellan fordon och elnätet, fokuserar på frågor gällande samverkan mellan en omfattande elektrifiering av vägfordonsflottan, elproduktionssystemet och övrig elkonsument i samhället [18]. Syftet är att besvara frågor om hur interaktionen mellan fordon och elsystem ska göras för att upprätthålla ett stabilt elsystem och samtidigt se till att alla

fordon förses med avsedd funktion [19]. Hänsyn tas till aspekter så som fysisk interaktion mellan fordon och nät (inklusive strömförsörjning), dataöverföring mellan fordon och elnät, kommunikation och säkerhetsaspekter samt människo- och konsumentperspektiv [19]. Ekonomiska aspekter så som affärsmodeller beaktas inte inom temaområdet i dagsläget [19].

Ambitionen med temaområdet är att identifiera kraven och behoven som behövs för att uppfylla syftet. Dessa krav inkluderar aspekter som när, var och hur laddning och urladdning ska ske. Hänsyn ska också tas till statiska och dynamiska laddlösningar. En viktig roll för temaområde 5 är att samarbeta med de andra temaområdena i SEC då flera av frågorna relaterar till dessa samt att Temaområde 5 ska vara SEC:s gränssnitt mot andra kompetenscentrum inom kraftsystemet. [19] Nedan listas några av de områden som identifierats som berör V2X och som bedömts som viktiga för dubbelriktad laddning i den roadmap som tagits fram av SEC [19]:

- Interaktion mellan elbilar, elnätet och elförsörjningssystemet.
- Holistisk V2G och smart laddning, som tar hänsyn till negativa systemeffekter i fordon, laddare, nät och konsument.
- Kvantifiering av nätförstärkningskrav och utredning av alternativa lösningar.
- Förutsägelser om framtida energi- och effektbehov och påverkan på kraftsystemet och på fordonet.
- Analys av nuvarande och framtida styrmedel och regelverk för att identifiera behovet av ändringar och vilka tillstånd som behövs för en framgångsrik implementering av elektromobilitetslösningar.

Några av de behov som har identifierats inom området som har anknytning till V2X är [19]:

- Utredda vilka möjligheter som finns för att använda V2G för att stötta elnätet.
- Analys av hur en kraftig upptrappning av elektrifieringen kan integreras i elsystemet och elnätet. Detta bör beakta samspelet mellan, och vikten av, olika flexibilitetsåtgärder i nätet, där smart laddning av elbil inklusive V2G är lovande alternativ för att hantera sol- och vindvariationer
- Kartläggning av ekosystemet, dvs. identifiering av intressenter och aktörer som finns i dagsläget och som kommer finnas imorgon för att möjliggöra interaktionen mellan fordon och elnät.
- Utredda vilka möjligheter det finns att stötta elsystemet med hjälp av batteribytesstationer.
- Utveckling av standarder som möjliggör dubbelriktad överföring mellan fordon och elnät.
- Säkerhet för fordonet och infrastrukturen vid smart laddning.
- Kommunikation: Peer2Peer-lösningar, cybersäkerhet, datasekretess, AI.
- Datasäkerhet, GDPR med mera om nätägaren kan styra laddningen.
- Utveckling av DC-system bakom mätaren.
- Laddstrategier för batterioptimering med hänsyn till storlek, livslängd och restvärde.

Inom Temaområde 5 finansieras flera projekt som fokuserar på vilken potential det finns i elbilar att med hjälp av dubbelriktad laddning stötta elsystemet. Flera av de intervjuade respondenterna som deltar i SEC lyfter fram att de återkommande mötena som arrangeras inom temaområdena där aktörer har möjlighet att lyfta frågor som är aktuella för dem är ett bra sätt identifiera viktiga frågor och utforma forskningsprojekt. Inom temaområde 5 finns det just nu en grupp som diskuterar batteribyte, eller Battery Swapping, och hur det kan användas för att stötta elsystemet.

4.5.2 Swedish Electric Transport Laboratory (SEEL)

Etableringen av SEEL påbörjades 2021 och inom ramen för satsningen etableras en testbädd för forskning och utveckling inom elektromobilitet som ska tas i drift 2023. Testanläggningar etableras i Göteborg, Nykvarn och Borås. I testanläggningarna har industri, institut och akademi möjlighet att testa nya tekniker och säkerhetsaspekter inom elektrifierade transporter. I Göteborg kommer det finnas möjlighet att testa olika typer av batterisystem, inklusive komponenter från underleverantörer. I Borås är fokus på säkerhetstester kopplat till laddning, kortslutning, vibrationer, mekanisk chock, extrema temperaturer och brandrisker. Anläggningen i Nykvarn riktar sig mot forskning och tester inom nya batteritekniker. SEEL ägs av Chalmers och RISE i ett gemensamt bolag och finansieras av Energimyndigheten, Cevt, Scania, Volvo Cars och Volvokoncernen [20]. Anläggningarna inom SEEL förbereds just nu för att kunna testa bilar som erbjuder dubbelriktad laddning och kontrollera att de uppfyller protokoll.

4.5.3 Swedish Electricity Storage and Balancing Centre (SESBC)

SESBCs vision är att elkraftssystemet inte ska sätta några begränsningar för omställningen till ett förnybart energisystem och samhällsutvecklingen. Centrumets syfte är att adressera utmaningen med att realisera ett nationellt elektriskt nätverk med möjlighet att leverera flexibel elkraft, som möjliggör för integrering av förnybara energikällor och balans mellan produktion och konsumtion. Vid kompetenscentrumet ska ett multidisciplinärt och internationellt konkurrenskraftigt svenskt nav för excellent forskning med stark industrisamverkan etableras. Centrumet finansieras av Energimyndigheten och består av Chalmers, Lunds universitet, Linköpings universitet, Uppsala universitet, Karlstad universitet och 30 andra aktörer från myndigheter och näringsliv. [21][22]

4.5.4 STandUP for Energy

Forskningsprogrammet STandUP for Energy är ett SFO (regeringens strategiskt viktiga forskningsområden). Det övergripande målet med satsningen är att sänka kostnaderna för produktion av förnybar och hållbar el samt utveckla kostnadseffektiva och energisnåla el- och hybridfordon. Arbetet görs med ett brett systemperspektiv och tar hänsyn till hela energisystemet och olika aspekter som miljö, juridik, samhällsstrukturer, ekonomi, konsumenterna mm [23]. Frågor som undersöks med anknytning till elfordon är bland annat hur energin lagras bäst, hur den används mest effektivt i framdrivningen och hur elfordon passar in i energisystemet. [24] I programmet ingår Uppsala universitet, Kungliga Tekniska Högskolan, Sveriges lantbruksuniversitet och Luleå tekniska universitet [23].

4.6 Pågående projekt

I detta kapitel presenteras ett antal fristående projekt som pågår inom området, både från akademien och industrin. Majoriteten av projekten som identifierats i Sverige som har nämnts under studiens gång är relativt nystartade och kommer pågå i några år till innan de avslutas och resultat kan publiceras.

Dansmästaren - Dansar elbilsägare efter det lokala elnätets pipa? Projektet startade 2019 och skulle varit avslutat 2022 men har fått förlängd. Målet med projektet är att med ett tvärvetenskapligt angreppssätt uppskatta den socioekonomiska potentialen för elbilsägare att agera flexibilitetsresurs i lokala elnät. I projektet utvecklas en affärsmodell och app. [25] Tanken var att dessa skulle testas i mobilitetshuset Dansmästaren men då laddarna inte klarade av dubbelriktad laddning har det inte varit möjligt att testa. Projektet finansieras av Energimyndigheten [25].

Data exchange between vehicle and power system for optimal charging är ett nyligen avslutat projekt som fokuserade på att sammanställa litteratur som har publicerats mellan 2019–2022 om laddningsstrategier. Litteraturanalysen visar på vilken data som behöver delas vid laddning och att den föredragna laddningsstrategin varierar beroende på fordon, samt när, var och hur det används [26]. Projektet genomfördes vid Uppsala universitet och finansierades av SEC.

Elbilar till allting – Mobilitet med extra tjänster (V2X-MAS) pågår mellan 2021–2023. Projektets mål är att påskynda elektrifieringen av transportsektorn genom att stötta elsystemet och skapa värden för elbilsägaren. I projektet utvecklar Polestar en dubbelriktad AC-ombordladdare, CTEK och Ferroamp utvecklar V2X-kompatibla AC- och DC-laddstationer, Chalmers utvecklar avancerade styralgoritmer för batteriet och Göteborgs Energi utvecklar affärsmodeller för olika V2X-lösningar. Projektet koordineras av Chalmers och finansieras av Energimyndigheten inom programmet "Uppdrag att stödja forskning och innovation inom elektromobilitet". [26] I projektet har två publikationer levererats: *Vehicle to Everything (V2X) - A Survey on Standards and Operational Strategies* [2] och *A Review on Implementation of Vehicle to Everything (V2X): Benefits, Barriers and Measures* [5].

Loggning av elbilsanvändning - karakterisering av kör- och laddmönster och påverkan på elnätet pågår mellan 2022–2026. Projektet ska öka förståelsen för ladd- och körmönster från elbilar för att därefter undersöka möjligheter och utmaningar att utnyttja V2G. Projektet består av fyra delar: insamling av verkliga data från över 360 elbilar, statistisk analys av insamlade data, analys av kapacitetsbegränsningar i lokala elnätet utifrån insamlade data samt modellering av hur batterikapaciteten påverkas av laddmönstret. Projektet genomförs av Chalmers och finansieras via SEC och Energimyndigheten. [27]

Ett Elsystem för elfordon är ett branschöverskridande forsknings- och samverkansprojekt med fokus på samspelet mellan elektrifieringen av fordonsflottan ur ett lokalt, regionalt och nationellt perspektiv och elsystemet. I projektet tas ett helhetsgrepp om elektrifieringen av fordonsflottan och hela kedjan från affärsmodeller för laddning till påverkan på elsystemet studeras. I projektet deltar ett tjugotal företag och organisationer, teknikleverantörer och regioner inom energi- och transportbranschen. Projektet pågår mellan 2021–2023 och finansieras av Energiforsk. [28]

Inom projektet finns arbetspaketet *Åtgärder och lösningar för storskalig elektrifiering av fordonsflottan*, som pågår mellan 2022–2023. Arbetspaketet består av fyra teman: 1) Utbyggnad och ledtider för elsystemet, 2) System för styrning av laddning, i kombination med styrning av fastighetens elanvändning i stort, samt V2G, 3) Affärsmodeller och elmarknadsmodeller, 4) Förändringsbehov gällande regelverk och standardisering. Inom ramen för arbetspaketet kommer flera frågor med koppling till V2G att undersökas, bland annat identifiering av behovet av flexibilitetstjänster och möjligheten att använda V2G för att stötta nätet, analys av hur framtida styrsystem kan påverka energisystemets stabilitet och dess påverkan på balansansvariga, analys av incitament och utformning av affärsmodeller samt avslutningsvis en analys av gällande regelverk och standarder. [29]

Dubbelriktad laddning i publika miljöer (PEPP) pågår mellan 2022–2024. I projektet utreds möjligheten att tillämpa dubbelriktad laddning i större skala då det fortfarande finns många obesvarade frågor gällande tekniska system vid uppskalning, hur människor uppfattar och använder dubbelriktad laddning i publika miljöer samt vilket värde som tjänsterna skapar. I projektet kommer tolv fordon att användas i piloter för att utvärdera dubbelriktad laddning ur ett systemperspektiv i publika miljöer. [30] Sex av fordonen kommer användas i ett parkeringsgarage och sex i en bilpoolstjänst [31]. En av anledningarna till att det görs två olika tester är för att utvärdera skillnaden i potentialen att bidra med V2G, då fordonen i garaget står stilla under en längre tid [31].

Via piloterna ska tekniska system och kundnyttor valideras, samt regelverk, policys, affärsmodeller och incitament utvärderas. Projektet ska också förbereda för storskaliga svenska demonstrationer. I projektet deltar 13 aktörer som koordineras av Lindholmen Science Park och finansieras av Energimyndigheten inom forskningsprogrammet FFI Nollutsläpp. [30]

Affärsmodeller för laddning av elbilar med hänsyn till nätbegränsningar: samspel mellan bilägare, elleverantör och nätägare startas upp under våren 2023 och pågå till 2024. I projektet utvecklas affärsmodeller för att skapa en effektiv och flexibel användning av batteriet i elbilar vid kapacitetsbegränsningar i nätet. Projektet kommer undersöka möjligheten till att utnyttja flexibilitet för prisarbitrage, frekvensreglering, spänningsstyrning och minskning av möjliga nätöverblastningar med hänsyn till sakägarnas regelverk och ekonomiska incitament. Utförare av projektet är KTH och det finansieras via Energimyndighetens forskningsprogram Framtidens Elsystem. [32]

Managing grid capacity with energy storage är ett doktorandprojekt som nyligen har startats vid Lunds tekniska högskola som är finansierat inom Swedish Electricity Storage and Balancing Centre. I projektet kommer energilager på olika nivåer i nätet att analyseras. Batteriet i elbilar kommer analyseras som en resurs för att stötta elnätet. I satsningen ingår också några examensarbeten som undersöker potentialen för V2G att balansera elnätet utifrån Svks prognoser till 2045.

Vehicle-Grid Interaction from a policy perspective – är ett nystartat projekt som ska kartlägga vilka policys som behövs för att möjliggöra integreringen mellan elbilar och elsystemet. Projektet leds av Lunds universitet och finansieras av SEC.

Laddningsstrategins inverkan på elbilens batterisystem (LIEB) är ett nystartat projekt som ska studerat följande två forskningsfrågor: Vilken inverkan har olika laddningsstrategier för elbilar på batterisystemets hållbarhet på kort och lång sikt? Vilka designmål kan föreslås för elbilsbatterier för att bidra till ökad hållbarhet för fordonet vid laddning med olika laddningsstrategier? Projektet genomförs av Uppsala universitet och finansieras av Energimyndigheten.

Andra projekt som har nämnts där dubbelriktad laddning kan komma in som en del:

- **Rationell hantering av systembalans i ett system med nära 100% förnybar el**, Svenska kraftnät
- **Privata, kommersiella och offentliga elkonsumenter som flexibilitetsresurs**, Uppsala universitet
- **Användarnas roll i implementeringen av smarta elnät**, Uppsala universitet
- **Uppflex** – ett samlat (aktörs-) grepp om kapacitetsutmaningen i Uppsalaregionen, Uppsala universitet mfl



5

Internationell Utblick

I detta kapitel görs en mindre internationell utblick, för att besvara frågeställningar om vad som sker inom området globalt, med extra fokus på Norden och Europa. I kapitlet ges även ett antal goda internationella exempel på forskningsprojekt och finansiering. Trots att många demonstrationer och projekt går att hitta beskrivna i media saknas i många fall vetenskapliga studier kring dessa [5], varför även andra källor använts i detta kapitel.

Respondenterna i intervjustudien har genomgående svarat att Sverige ligger långt fram i utvecklingen av tekniken för dubbelriktad laddning, vilket antas bero på att vi har tillverkning av både bilar, laddinfrastruktur och batteritillverkning, samt mjukvaruutvecklare och ett behov i form av utmaningar i elnätet som kan hanteras med hjälp av dubbelriktad laddning. När det gäller utrullning av tekniken och fullskaliga demonstrationsprojekt finns dock få svenska projekt representerade i internationella sammanställningar, och andra länder ligger längre fram. Flera av respondenterna i denna studie lyfter också fram Nederländerna och UK som två europeiska länder som fokuserar på att testa och implementera dubbelriktad laddning i större skala, men även Danmark har haft projekt som sticker ut i en internationell kontext.

År 2019 fanns ca 70 projekt kring V2G globalt, varav 90% i EU, USA och Japan [6]. En sammanställning av 50 projekt från 2018 fann 25 i Europa, 18 i Nordamerika och 7 i Asien [11]. Khezri et al. [5] gjorde 2022 en genomgång av 12 demonstrationsprojekt för V2X, varav fyra i Nordamerika, ett i Japan och sju i Europa. En användarstyrd sammanställning online listade i mars 2023 112 projekt varav 20 i Nordamerika, 78 i Europa (varav två svenska), 10 i Asien, två i Afrika, ett i Australien och ett på Nya Zeeland [34].

Intressant att notera är att olika tekniker tycks driva utvecklingen av V2X i olika delar av världen. I USA och Japan förutspås exempelvis V2H och V2L komma före av flera respondenter i den här studien, vilket också stärks av mediabilden [35] [36] och de projekt som identifierats, då utvecklingen drivs av ett behov att klara strömbrott och har aktualiserats efter olika naturkatastrofer och andra händelser som lämnat många hushåll strömlösa. Som en annan möjlig orsak nämns även skillnader i synen på självförsörjande och autonomi mellan länder. I USA har biltillverkare redan börjat göra reklam för hur elbilar kan driva ett hem, verktyg eller försörja en campingtur med ström som ett säljargument [37] [38]. I en europeisk kontext är det främst utmaningar i elnätet som drivit utvecklingen, med resultatet att de flesta projekt och studier rör V2G-tekniken och dess förmåga att leverera stödtjänster till elnätet.

5.1 Exempel på forskning och utveckling kring V2X i övriga länder

USA var tidigt ute med teknisk utveckling kring dubbelriktad laddning och V2G redan på 1990-talet vid University of Delaware [15] [39] och 2012–2014 genomfördes det första projektet som faktiskt sålde el tillbaka till nätet från femton uppkopplade elbilar som levererade frekvensregleringstjänster i projektet "Grid on Wheels" [5] [40]. I USA har även flera projekt startat upp där elektriska skol-bussar används för V2G när de står parkerade [41] och projektet "Distribution System V2G" testade laststyrning och nättjänster med både AC- och DC-laddning mellan 2015–2018 [5] [42]. V2G var även en del av projektet "Smart Power Infrastructure Demonstration for Energy Reliability and Security (SPIDERS)" som drevs bland annat av det amerikanska försvarsdepartementet mellan 2012 och 2015 [43]. Inom projektet demonstrerades användningen av V2G-teknik för att tillhandahålla reservkraft till militärbaser under nödsituationer. Projektet använde elfordon som mobila kraftkällor och integrerade dem med basens mikronät.

Delstaten Kalifornien i USA tog redan 2014 fram en roadmap för VGI (Vehicle-Grid-Integration) där V2G och V2H diskuterades [44]. V2X har även testats i flera projekt i delstaten, bland annat som en del av ett större projekt kring smart laddning vid UCLA, "Demonstration of PEV Smart Charging and Storage Supporting Grid Objectives project" [45] där hårdvara och mjukvara för smart laddning, V2B och V2G utvecklades och testades fram till 2018. I december 2017 bestod UCLAs testbed för Micro-Grid av 115 smarta elbilsladdare, två DC-snabbladdare, ett 35 kW PV-system, ett 76 kWh batterienergilagringssystem och 343 aktiva EV-användare. Olika tekniker testades inom ramen för projektet.

Japan var bland de länder som var tidigast ute med att testa V2H/V2B i praktiken. Nissan Leaf kom redan 2012 med konceptet Leaf-to-Home möjlig backup-kraft, vilket var ett högaktuellt ämne i landet efter tsunamin som lämnade 4.4 miljoner hem strömlösa i norra Japan 2011. Mitsubishi Corporation testade 5 prototyppladdare på sitt huvudkontor mellan 2010–2013 i ett tidigt V2B-försök, i samverkan med bla. Tokyo Institute of Technology. Flera andra småskaliga tester har sedan dess utförts i Japan, bland annat ett V2G projekt som ett samarbete mellan Toyota Tsusho och Chubu Electric 2018–2020, men begränsad tillgång till publik information finns att tillgå för dessa [34].

I Australien påbörjades satsningen Battery Storage and Grid Integration Program (BSGIP) i april 2018. Programmet fokuserar på socio-teknik-ekonomisk forskning med målet att stödja den globala omställningen till en fossilfri ekonomi. [46] BSGIP deltar bland annat i projektet Realising Electric Vehicle-to-grid Services (REVS), en tvåårig satsning med fokus på att accelerera integrationen av elbilar i den nationella elmarknaden [47]. Aktörerna som deltar i REVS täcker hela värdekedjan inom transport- och elsystemet och ska ta fram en roadmap med rekommendationer som accelererar implementeringen av V2G [48]. Bland annat har projektet publicerat The A to Z of V2G – a comprehensive analysis of vehicle-to-grid technology worldwide [7].

5.2 Forskning och utveckling av V2X i Europa

Nedan görs en genomgång av forskningsprojekt som har nämnts av flera respondenter i studien.

5.2.1 Danmark

I Danmark har flera projekt kring V2G utförts. EDISON-projektet som redan 2009–2013 utförde tester på Bornholm [49], och Nikola-projektet som utförde en demonstration mellan 2013–2016, banade väg för andra stora satsningar. Det senaste, Parker-projektet [50], utfördes av ett konsortium bestående av 9 aktörer (Nissan, Mitsubishi Corporation, Mitsubishi Motors Corporation, PSA ID, NUVVE, Frederiksberg Forsyning A/S, Insero A/S, Enel och DTU Electrical Engineering) mellan 2016–2019 som finansierats av ForskEL med en projektbudget på drygt 11 miljoner DKK. Inom ramen för Parker-projektet har bland annat leverans av stödtjänster till FCR-D från en fordonsflotta testats, och målet med projektet var att validera att serietillverkade elfordon som en del av en operativ fordonsflottan kan stödja. Dessutom avsåg projektet att identifiera barriärer vad gäller marknad, teknik och användare för att bana väg för ytterligare kommersialisering. Som en del av projektet utfördes en pilotstudie i Fredriksberg, där världens första kommersiella pilotstudie med serieproducerade bilar färdiga för V2G testades.

5.2.2 Storbritannien

I UK har flera demonstrationer och projekt kring V2X genomförts de senaste åren inom ramen för ett stort forskningsprogram om V2G, genomfört av Innovate UK med finansiering från UK Department of Business, Energy, Industry and Science (BEIS). Bland satsningarna märks "EV-elocity" (2018–2022) där forskare visat hur V2G kan bidra till minskad batteridegradering med rätt styrsignaler, "e4Future" som demonstrerade flexibilitet från V2G och "Sciurus". [51]

Sciurus

Demonstrationsprojektet Sciurus pågick under 36 månader med start i april 2018 och utvecklade och installerade hårdvara och mjukvara hos över 330 kunder, baserat på CHAdEMO-laddare och Nissan Leaf-bilar [52]. Inom projektet samlades data in och analyserades från 12 månaders användning, och studier av användarnas upplevelser gjordes. Projektet finansierades av UK Department of Business, Energy, Industry and Science (BEIS), Office for Low Emission Vehicles (OZEV) tillsammans med Innovate UK och konsortiet bestod av energibolaget OVO Energy, mjukvaru-utvecklaren Kaluza och biltillverkaren Nissan, tillsammans med NGO:n Cenex och laddoperatören Indra.

En av slutsatserna från projektet var att det finns stora ekonomiska vinster för både användaren och elnätet med V2G. År 2030 kan Storbritannien ha nästan 11 miljoner elbilar på vägen. Om 50 % av dessa fordon använde V2G, skulle detta öppna upp 22 TWh flexibilitet per år och skulle kunna ge ~16GW daglig flexibel kapacitet till nätet enligt rapporten. Inom ramen för projektet identifierades också ett antal områden som är i behov av vidare utveckling för att en utrollning av V2G ska kunna ske: kostnad för hårdvara och installation måste sjunka, fler bilar behöver utrustas och godkännas för V2G, certifiering och lokalisering av kompatibla laddare behöver bli

enklare och tillgång till marknader behöver underlättas. Ytterligare lärdomar från demonstrationsprojektet är att barriärer kopplat till räckviddsångest, batterislitage och tvivel kring att tekniken kan bidra med en inkomst minskade bland deltagarna [53].

Finansiering

UKRI Innovate UK driver ett innovationsprogram för V2X Innovation som omfattar £12,6 miljoner på uppdrag av BEIS, Department for Business, Energy and Industrial Strategy [54]. Innovationsprogrammet V2X (vehicle-to-everything) syftar till att hantera hinder för att möjliggöra flexibilitet från dubbelriktad laddning av elfordon. Inom programmets första fas har 17 projekt fått finansiering, inom forskningsområden som berör interoperabilitet, smarta hem-lösningar, teknikutveckling, tariffmodeller, hantering av fordonsflottor med V2X, microgrids, affärsmodeller, hinder för slutkonsumenten och övervakning av batteridegradering.

Inom ramen för programmet lanserades också nyligen vad aktörerna själva benämner världens första program för dubbelriktad laddning med CCS teknik, INFLEXION, i ett samarbete mellan Kaluza, Volkswagen Group UK, OVO Energy och Indra [55], som är en uppföljare till det tidigare projektet Sciurus.

5.2.3 Nederländerna

Ett av de länder som kommit längst med V2X i både Europa och i ett globalt perspektiv är Nederländerna. Förutom att vara en del i INTERREG-projektet SEEV4-City finns stora satsningar och ett antal projekt kring V2G i landet, både i Amsterdam och i Utrecht. I Nederländerna finns också innovationshubben ElaadNL, som är en kunskapshubb för smart laddinfrastruktur i landet. ElaadNL är ett samarbete med de nederländska elnätoperatörerna för att bana vägen för en framtid med hög andel förnybar el från variabla produktionskällor och en hög andel elfordon. [56]

Utrecht, ett pilotområde för smart laddning och V2X

Staden Utrecht i Nederländerna har höga ambitioner att skapa ett ekosystem för dubbelriktad laddning genom att skapa ett pilotområde för vad de kallar "Smart Solar Charging". I nuläget finns det över 500 laddare som klarar bidirektionell laddning och 200 bilar [58]. Målet är att öka andelen solenergi och en del i att ta till vara på energin är att ladda stadens bilflotta när solen skiner för att sedan ladda ur dem under kvällen och därmed avlasta elnätet. Det första projektet, "Smart Solar Charging", var ett samarbetsprojekt som implementerade ett nätverk av 500 dubbelriktade laddare i staden samt etablerade en elbilspool med 200 fordon via organisationen "We drive solar". Projektet pågick i fyra år och finansierades av European Regional Development Fund (ERDF) [58]. Tekniken fortsätter att utvecklas på lokal nivå i projekten IRIS, ROBUST [59] och FLEET [60] och på en europeisk nivå i projektet SCALE för att möjliggöra en internationell implementering [58]. Inom projektet FLEET, som samfinansieras av TKI Urban Energy studeras laddmönster. Inom projektet IRIS, finansierat av Horizon 2020 implementeras dubbelriktad laddning i distriktet Analeneiland-Zuid i Utrecht [61].

Inom SCALE ska en bilpool med 500 st Hyundai IONIQ5 och 3 000 AC laddpunkter som är kompatibla med ISO-15118 användas för att undersöka möjligheten till att stötta elnätet med hjälp av dubbelriktad laddning. Målet är att konstruera ett Virtual Power Plant och undersöka vilken potential det finns att stötta elnätet via en bilpool och hur den kan uppnås. [3] [62]

5.2.4 Särskilda satsningar

INTERREG

INTERREG finansierade det europeiska samverkansprojektet SEEV4City (2016–2020) där flera regioner samarbetade i ett projekt fokuserat kring att integrera elbilar, förnybar elproduktion och ICT-lösningar. Inom ramen för projektet genomfördes sex piloter i fyra länder i ett samarbete mellan Oslo kommun (NO), Leichestre (UK), Amsterdam (NL), Johan Cruljiff Arena (NL) och KULeuven (BE), under ledning av Amsterdam University of Applied sciences. Inom projektet demonstrerades olika nyttor så som frekvensreglering, lastflyttning och energi-arbitrage för både hemmaladdning, destinationsladdning och publik laddning med CHAdeMO-teknik.

Horizon Europe Framework Programme (HORIZON)

Forskningsprogrammet Horizon Europe (Horisont Europa) är Europeiska unionens ramprogram för forskning och innovation under perioden 2021–2027. Programmet består av de tre pelarna 1) Vetenskaplig kompetens 2) Globala utmaningar och europeisk industriell konkurrenskraft samt ett 3) Innovativt Europa. Inom pelare nummer två finns det stöd för forskning och innovation som rör industriteknik och samhällsutveckling inom sex olika områden. [63] Inom område nummer fem – klimat, energi och mobilitet – finansieras projekt som fokuserar på utmaningar relaterat till V2X.

År 2021 genomfördes utlysningen *System approach to achieve optimised Smart EV Charging and V2G flexibility in mass-deployment conditions (2ZERO)*¹. Målet med utlysningen var att utveckla kontrollerbara laddlösningar för att inte skapa effektoppar i elsystemet och att undersöka möjligheten att använda batterier i parkerade fordon för att avlasta elsystemet. [64] Nedanstående fem projekt fick finansiering för studier relaterade till V2X, varav ett där svenska aktörer medverkar (SCALE).

Delivering Renewal and Innovation to mass Vehicle Electrification enabled by V2X technologies, (DriVe2X)

DriVe2X är ett multidisciplinärt projekt med målet att etablera en vetenskaplig grund och öka intressenters medvetenhet om V2X i stor skala. DriVe2X:s övergripande mål är att bidra till att påskynda införandet av V2X genom att fördjupa State-of-the-art inom området, utveckla nya V2X-teknologier och lösningar som är lämpliga för storskalig implementering av elbilar och utveckla policyverktyg och insikter till stöd för relevanta beslutsfattare. Projektet pågår mellan 2023–2026 och aktörer från Finland, Portugal, Nederländerna, Tyskland, Spanien, Italien och Storbritannien deltar. [65]

¹ Utlisningens ID är HORIZON-CL5-2021-D5-01-03

Electric Vehicles Management for carbon neutrality in Europe (EV4EU)

EV4EU kommer att utveckla och implementera strategier för V2X som skapar förutsättningar för storskalig implementering av elfordon. Strategierna kommer att analysera effekten på batterier, användarnas behov, kraftsystem, integrationen med energimarknader och städers omvandling. De föreslagna strategierna kommer att testas på fyra demonstrationsplatser, vilket möjliggör en utvärdering av de föreslagna metoderna och verktygen, definitionen av lämpliga implementeringsvillkor och en konsolidering av de mest lovande lösningarna och affärsmodellerna. Projektet pågår mellan 2022–2025 och aktörer från Portugal, Slovenien, Danmark, Grekland, och Storbritannien deltar. [66]

Flexible energy systems Leveraging the Optimal integration of EVs deployment Wave (FLOW)

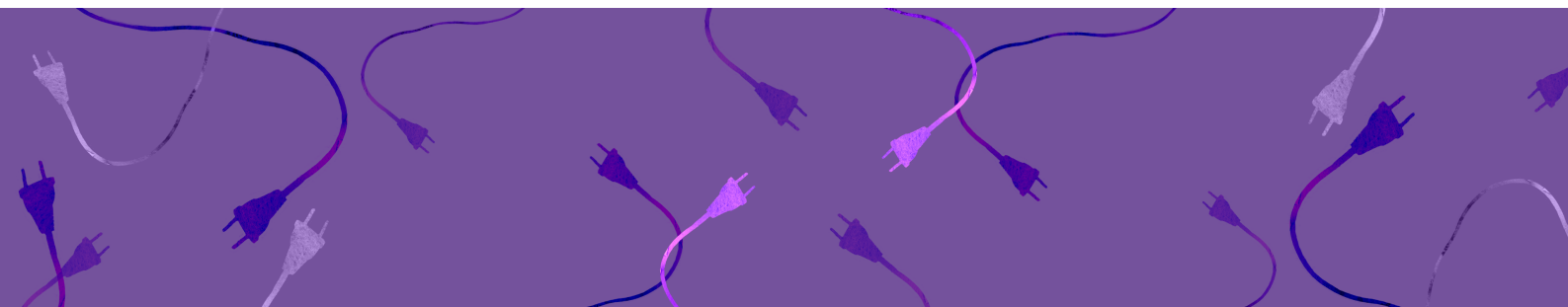
FLOWs syfte är att öka förståelsen för vad som krävs för att möjliggöra storskalig implementering av smart laddning och V2X-lösningar. Detta görs genom att utveckla heltäckande koncept, konfigurationer och mekanismer. Lösningarna ska dessutom ta hänsyn till alla inblandade aktörers behov. I projektet ska enhetliga standardiseringar mellan olika sektorer och avancerade interoperabla lösningar utvecklas för att förbättra planering, drift och bedömning av laddning av elbilar för sömlös integrering i energisystemet och identifiering av det mest lämpliga scenariot baserat på en multikriteriemodell, utnyttjande av lämpliga affärsmodeller och skräddarsydda tjänster. Projektet pågår mellan 2022–2026 och aktörer från Spanien, Italien, Tyskland, Danmark, Tjeckien, Irland, Belgien, Nederländerna och Schweiz deltar. [67]

Large scale system approach for advanced charging solutions (XL-Connect)

Det övergripande syftet är att optimera hela värdekedjan för laddning, från energiproduktion till slutkund, för att skapa fördelar för alla intressenter. Detta ska göras genom att utveckla en laddlösning som tar hänsyn till mänskliga, tekniska och ekonomiska faktorer längs hela värdekedjan. Forskningsprojektet pågår mellan 2023–2026 och aktörer från Österrike, Italien, Frankrike, Belgien, Spanien, Tjeckien, Nederländerna, Portugal och Storbritannien deltar. [68]

Smart Charging ALignment for Europe (SCALE)

Projektet syftar till att främja smart laddinfrastruktur och underlätta implementering av elfordon. Projektet fokuserar på att minska osäkerheter kring smart laddning, interoperabla system och V2X-lösningar, oavsett om dessa är tekniska, organisatoriska, ekonomiska, sociala eller policyrelaterade, och hjälpa till att forma ett nytt energiekosystem där flexibiliteten från batterier i elbilar kan utnyttjas. Forskningsprojektet pågår mellan 2022–2025 och aktörer från Nederländerna, Belgien, Tyskland, Frankrike, Norge, Sverige, Grekland och Ungern deltar. [69]



6 Utmaningar och framtida forskningsbehov

För att åstadkomma en överblick över identifierade forskningsbehov för dubbelriktad laddning har denna syntesrapport utgått från att hitta samband mellan respondenternas inspel och befintlig litteratur. Det finns flera vetenskapliga artiklar och rapporter från näringslivet som har gjort internationella sammanställningar och kartlagt utmaningar som V2X står inför, några exempel är [2] [3] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]. Utmaningar som identifierats i litteraturen är i linje med svaren från intervjustudien och kan kategoriseras i tekniska, ekonomiska, regulatoriska och sociala utmaningar.

Flertalet respondenter upplever det inte som att det finns en stor kunskapslucka som behöver fyllas med ren akademisk forskning, utan det är snarare många frågor som behöver lösas för att möjliggöra en helhetslösning. Det finns dock olika syn på huruvida teknik och standarder för det enskilda fordonet fortfarande utgör en stor utmaning för att dubbelriktad laddning ska realiseras. Flera respondenter nämner att de stora utmaningarna i nuläget relaterar till affärsmodeller, lagar, beteenden och hur systemet ska fungera storskaligt, men vissa lyfter även att standarder är långt ifrån klara och att det fortfarande inte finns teknik tillgänglig på marknaden, vilket har varit en begränsning i vissa projekt.

Till följd av att tekniken nyligen har blivit tillgänglig i bilar och laddinfrastruktur startar allt fler projekt upp inom området både i Sverige och internationellt. Nyligen startade projekt inom Horizon Europe med fokus på att identifiera hinder, drivkrafter samt utveckling av tekniken. Det innebär att mycket ny kunskap kommer att finnas på området inom en snar framtid.

Utifrån dessa samband har de utmaningar implementeringen av dubbelriktad laddning står inför, samt de påföljande kunskapsmässiga behoven, kategoriserats in under följande tematiska områden:

- Elbilens roll i elsystemet
- Hur påverkas batterier av dubbelriktad laddning?
- Hur kommer elbilar laddas framöver?
- Utmaningar kring affärsmodeller
- Sociala och beteendemässiga utmaningar
- Regulatoriska utmaningar
- Övriga utmaningar

Biltillverkare har olika åsikterna om tekniken, vissa är mer öppna med att bilen ska bidra med så mycket nytta som möjligt och andra anser att bilen enbart ska användas för sitt primära syfte, det vill säga transport. Tankarna kring vilken tillämpning (V2G, V2B eller V2H) som kommer realiseras först skiljer sig åt, men flertalet av respondenterna tror att V2H kommer realiseras först. Vid V2H finns det färre intressenter som är kravställare, affärsmodellen är enklare och den som drar nytta av tekniken är också oftast ägare till fordonet. Utmaningar som nämnts är elsäkerhet och potentiellt krångliga avtal, samtidigt som incitamenten kanske inte är lika stora då färre intäktskällor kan utnyttjas, åtminstone då inget ytterligare utbyte sker med omkringliggande elsystem och marknader. Genom V2G är det fler aktörer som är inblandade och kravkedjan blir mer komplex, men samtidigt kan mer intäkt genereras och mer nytta kan levereras till systemet. Det är också svårare att ha överblick över när en enskild laddare kommer att användas.

Temaområdet 5 i SEC har gjort en framåtblick kring hur elfordon interagerar med elnätet på fem, tio och femton års sikt. Om fem år förutspås V2G lösningar bli vanligare, men utvecklingen påverkas av hur flexibilitetsmarknader och reglering utvecklas. Utvecklingen tros då ha kommit tillräckligt långt för att V2G ska vara standardiserat och implementerat i kommersiella produkter och ekonomiska incitament kommer att ha implementerats. Dessutom tros transformatorer på alla nivåer i nätet ha utrustats med sensorer vilket möjliggör bättre överblick av nätet. På tio års sikt förutspås att det kommer att finnas en mix av konduktiv och induktiv laddning. Om femton år antas en stor del av fordonen i samhället att vara elektriska och det kommer finnas mogna standarder och marknader. Bilpoler förutspås bli allt vanligare i städer och bilarna kommer att vara en del av ett ekosystem. [19]

6.1 Elbilens roll i elsystemet

Respondenterna ser olika potentialer, drivkrafter och användningsområden för dubbelriktad laddning och reflekterar över frågor likt: Vilken roll kommer elbilen att ha i samhället framöver och vilken funktion kommer dubbelriktad laddning ha? Exempel som har nämnts är att tekniken behövs som en resurs fram tills att nätet är utbyggt, men även att det finns ett behov längre fram när elpriserna varierar mer. Vissa anser därför att behovet av V2G finns främst fram till 2030, därefter finns det andra tekniker som kan hantera utmaningarna i elsystemet på ett bättre sätt, andra ser raka motsatsen och menar på att dubbelriktad laddning har en viktig roll i ett framtida energisystem med större behov av flexibilitet. Framöver efterfrågas mer kunskap om vilken potential elbilar har att stötta elnätet samt kartlägga vilket behov det finns och hur tekniken konkurrerar med andra resurser i elsystemet som erbjuder liknande tjänster, exempelvis stationära batterier, second-life batterier eller vätgas. En utmaning som har lyfts är utformningen av energistyrningsalgoritmer för exempelvis hushåll när energilagret är i bilen och hur de ska optimeras för att maximera nyttan för ägaren av bilen. Det pågår insamling av data från elbilar för att kartlägga potentialen den verkliga potentialen i olika typer av användarstudier och hur elbilen kan stötta nätet eller användas bakom mätaren.

Respondenter har också gett olika bilder kring vad som kommer vara drivkraften för att implementera V2X. Kommer implementeringen av tekniken att drivas av möjligheten till en ny inkomstkälla, som en resurs till elnätet eller kommer det vara resiliensperspektivet och möjligheten för en individ försörja sig själv eller stötta systemet med el vid en störning eller kris?

Respondenter har nämnt att elbilar kan komma att stå för en betydande del av effekt- och energibehovet för en fastighet framöver och att det därför är viktigt att integrera elbilen som en resurs för att möjliggöra att de kan bli en del energisystemet på lokal nivå. Den senaste tiden har visat hur viktigt det är att kunna hantera sina effektresurser och tester som har gjorts visar på en god potential med solceller, stationära batterier och dubbelriktad laddning för att avlasta elnätet lokalt och minimera effekttoppar. Ytterligare utmaningar som fastighetsägarna står inför är hur mobilitetstrender kommer att utvecklas, exempelvis kring bilpooler eller eget ägande och hur det påverkar möjligheterna till V2X och smart laddning.

Utvecklingen av batteristorleken i bilarna framöver kommer även den att påverka potentialen att leverera sekundära tjänster. Det är i dag oklart om det kommer att vara fortsatt strävan efter stora batterier för att ha lång räckvidd, eller om marknaden kommer att röra sig mot mindre batterier när hastigheten på laddning ökar. Det finns också frågor kring hur batteribyte kan användas som en resurs i nätet. Dessa batterier blir ett mellanting mellan stationära och mobila och kan utnyttjas för att stötta nätet när de laddas upp i batteribytesstationerna.

6.2 Hur påverkas batteriet av dubbelriktad laddning?

I dagsläget finns det oklarheter kring hur ett batteri påverkas av dubbelriktad laddning, samtidigt som batteriet står för en stor del av kostnaden vid köp av en elbil. Detta har skapat en osäkerhet kring att använda batteriet i bilen för andra syften än transport. Dels vill inte ägaren av bilen riskera att behöva byta ut batteriet i förtid om man inte har fått tillräckligt hög ersättning, dels vill bilproducenten inte att batteriets garantier ska riskeras. Både bland respondenter till intervjustudien och i litteraturen diskuteras denna fråga. Batterislitage ses som en utav de största sociala utmaningarna för V2X [5] [10].

Ett batteri slits av användning och ålder [7]. I litteraturen används kalenderåldrande, (batteriet förlorar kapacitet på grund av ålder), och cykliskt åldrande, (batteriet förlorar kapacitet till följd av användning), [5] [9]. Det finns också andra faktorer än totalt energiuttag som påverkar hur batterier slits; såsom temperatur, fysisk ålder, laddnivå över tid (SoC), djupet på urladdningen, effekten vid laddning och urladdning och antalet djupa urladdningar [7]. Effekten av att batteriet åldras är att prestandan på batteriet blir sämre [7]. Det finns litteratur som antyder att dubbelriktad laddning kan minska slitaget på batteriet om det används på ett korrekt sätt [7], vilket också har nämnts i intervjuer. Effekterna av att använda dubbelriktad laddning motsvarar dessutom bara en väldigt liten del av påfrestningarna som uppstår vid acceleration eller inbromsning [10].

Till följd av att batteriet står för en stor del av kostnaden vid köp av en elbil är det viktigt att utveckla korrekta modeller för hur varje batteri slits vid användandet av dubbelriktad laddning för att ägaren av batteriet ska kunna kompenseras för slitaget [9]. Respondenterna i studien har uppgett att i pågående forskningsprojekt baseras batterislitage på teoretiska modeller och inte verkliga data. Därför efterfrågas projekt där batterier kan testas i verkligheten under en längre tid för att kunna analysera hur batteriet påverkas. En annan farhåga som lyfts bland deltagarna i studien är att hänsyn inte tas till batteriets välmående av företag som vill maximera vinsten av stödtjänster och arbitrage, samtidigt som ägarens kunskap är låg, varför batteriet kan komma att påverkas mer än vad som antyds i litteraturen. Kunskap och kompetens om hur batteriet bör drifas för att minska negativ påverkan på livslängden behöver därför byggas upp och spridas.

6.3 Hur kommer elbilar att laddas framöver?

En teknisk och ekonomisk fråga framöver är var kraftelektroniken som utgör gränsen mellan växelströmsnätet och likströmskomponenterna i lokala elsystem kommer att installeras. I dagsläget pågår det utveckling av två typer av laddare, växelströms- och likströmsladdare, som ska klara av dubbelriktad överföring. Bland biltillverkare finns det intresse för båda teknikerna [70]. Åsikterna om teknikerna går isär bland respondenterna i studien och det lyfts fram för- och nackdelar med båda. Beroende på teknikval kommer bilen att ge ifrån sig antingen likström eller växelström, vilket påverkar kostnaden och behovet av kringutrustning. Drivkrafterna är komplexa och handlar både om funktionalitet och ekonomi. Den komponent som innehåller den extra kraftelektroniken kommer att bli dyrare och det är därför avgörande om den hamnar i bilen eller laddaren för hur affärsmodeller utvecklas och vilken typ av data som kan delas.

Vid likströmsladdning kopplas batteriet till en laddbox som ansvarar för att konvertera likströmmen till växelström och mata ut den på nätet med rätt elkvalitet och anpassning till elnätets förutsättningar. Kraftelektroniken i laddboxen är då nyckelkomponenten vid sidan av batteriet i bilen. Vid växelströmsladdning räcker en enklare typ av laddbox, men då behöver istället bilen ha kraftelektronik inbyggd som gör om likströmmen till växelström. Eftersom en bil kan flytta sig över stora områden medan laddboxen ofta är stationär skulle då laddboxen behöva tillhandahålla mer platsspecifik information till bilen om hur el ska överföras till nätet, alternativt behöver någon form av geotagging och information över olika områdens nätkoder finnas i bilen.

Under intervjuer har det nämnts att det saknas regelverk gällande hur laddare och bil ska certifieras när kraftelektroniken är installerad i bilen för omvandling till växelström. Nätkoderna ses inte som ett problem från biltillverkarnas sida i nuläget men ett orosmoment framöver är om det sker förändringar i nätkoderna som kräver att hårdvara behöver bytas ut. I början av 2022 påbörjade ACER ett arbete med att revidera nätkoder för nätanslutning för förbrukare och generatorer, arbetet förväntas lämnas över till Europeiska kommissionen i slutet av 2023 [71]. Det efterfrågas också tydliga riktlinjer för att uppnå interoperabilitet. Framöver kommer också

troligen andra sätt att laddas undersökas, exempelvis via elvägar eller laddstationer som erbjuder konduktiv och trådlös laddning, vilket kan komma att påverka möjligheterna med V2X.

6.4 Identifierade utmaningar för affärsmodeller

Respondenter har nämnt att forskning och utveckling i Sverige har kommit långt gällande elnätmodeller och förståelse för den tekniska påverkan, men att förståelsen för vad affärsmodellen kan göra för teknikutvecklingen alternativt konsumentbeteendet behöver ökas. Det finns därför ett önskemål att en del av finansieringen i projekt med en teknisk inritning ska användas för att även utvärdera affärsmodeller.

Utformningen av affärsmodeller är en viktig del vid implementering av tekniken. Kommer investeringen i tekniken drivas av ekonomiska vinster för aktörer i värdekedjan eller kommer resiliensperspektivet, där ägaren av fordonet kan gå off-grid vid behov vara drivande, eller finns andra drivkrafter? En konsekvens av det rådande omvärldsläget med höga elpriser och en ökad risk för roterande bortkoppling är att respondenter har märkt en ökad efterfrågan för tekniker som kan minimera effekttoppar, öka användningen av egenproducerad el och ge möjlighet till avbrottsfri kraft. En elbil där det är möjligt att använda dubbelriktad laddning skulle kunna möjliggöra alla dessa tre funktioner med rätt typ av kringutrustning.

Historiskt har tekniken som behövs för att möjliggöra dubbelriktad överföring varit dyr, och låg ersättning har genererats vid utnyttjande av V2X [5]. Nu när tekniken börjar etableras och när produktionsvolymerna blir allt större kommer kostnaderna att sjunka och antalet leverantörer att öka. En central fråga som behöver besvaras är om värdet på tjänsterna som möjliggörs av dubbelriktad laddning är större än kostnaden för tekniken och batterislitage.

Andra frågor som behöver undersökas är hur affärsmodellen för bilar kommer att utformas framöver och kompatibiliteten mellan olika mobilitetstrender och möjligheten att utnyttja dubbelriktad laddning. Kommer vi fortsätta ha samma syn på bilens roll i samhället och kommer ägandeskapet att se ut på samma sätt, eller kommer det bli populärare med bilpooler och autonoma fordon eller företagsägda fordon [10]? Respondenter har nämnt att troligtvis kommer motivet till investeringar i en bil att skilja sig åt mellan konsumenter. Vissa kommer se bilen som ett mobilt bilbatteri som kan generera en intäkt när bilen inte används för transport, andra kommer prioritera att enbart användas bilen till transport. Hur viljan och förmågan att leverera tjänster från bilen och affärsmodeller kopplade till detta påverkas av ägandeskap är en fråga som nämnts som viktig att undersöka vidare.

Respondenter har också påpekat behovet av att utforma affärsmodeller så att resursen kan utnyttjas mer än när det är kapacitetsbrist var tionde år för att skapa en affär. I nuläget finns en stor del av de ekonomiska intäkterna på stödtjänstmarknaden. Vid storskalig implementering kan det finnas ett överflöd av stödtjänster i framtiden, vilket kan leda till att priserna blir väldigt låga [10]. Affärsmodellerna kommer därför att påverkas av hur balansmarknaderna, stödtjänstmarknaderna och flexibilitetsmarknaderna kommer att utformas. Respondenter har

dessutom nämnt att utnyttjandet av elbilar som en resurs på dagenföremarknaden och intradagshandeln borde vara möjligt, men att det är komplicerat regulatoriskt. Det efterfrågas långsiktiga analyser av vilka intäkter som utnyttjandet av dubbelriktad laddning kan bidra med, vilken marknad som ska prioriteras, vem som har rätt att styra användningen av batteriet och hur affärsmodellerna kan appliceras i en internationell kontext.

En fråga som har diskuterats i flera intervjuer har varit gällande hur man ska kunna använda elbilar som en resurs på stödtjänstmarknaderna och utmaningen med att veta var bilen befinner sig. Vissa respondenter har nämnt att det inte är någon större utmaning då det redan finns aktörer som deltar med resurser via smart laddning, samt att människor som grupp är förutsägbara i ett större perspektiv. Däremot behöver tekniken klara av att styra batterierna tillräckligt snabbt och med hög noggrannhet, vilket saknas i dagsläget [7]. Vissa respondenter har även lyft fram att lokala flexibilitetsmarknader borde passa elbilar bra medan andra menar att det är viktigt att det finns ett samspel mellan energi och effekttariffer för att kunna styra laddning på ett bra sätt.

6.5 Sociala utmaningar och behov av ökad kunskap om beteende

Både från respondenter i studien och inom litteraturen påpekas att kunskapen bland allmänheten om vad dubbelriktad laddning innebär är låg i dagsläget. Människor är inte medvetna om vad tekniken innebär och vilka möjligheter som finns, vilket är en stor barriär [5]. Identifierade barriärer är att det påverkar människors frihetskänsla att använda batteriet till något annat än transport [5] [7], att människor är oroliga för batterislitage [10], räckviddsångest och rädsla för längre laddsessioner [5].

En utmaning för storskalig utrullning av V2G är att det har gjorts få verkliga demonstrationer och att deltagarna i de befintliga demonstrationerna ofta är teknikentusiaster, eller så kallade early adopters, vilket kan påverka resultaten från demonstrationerna. Några studier har undersökt olika prismodeller och preferenser för V2X hos möjliga framtida användare, men mer forskning behövs då resultaten delvis är motstridiga. Exempelvis pekar en studie på högre krav på ersättning för att delta i V2G för mer erfarna användare [72], medan andra studier visar på motsatsen [52]. En konsekvens av att människor inte vet vad dubbelriktad laddning innebär är att det inte skapar en efterfrågan på marknaden [7].

Framöver ses ett behov av mer kunskap om hur elbilar körs och vilka incitament som behövs för att kunder ska vilja koppla in laddaren för att möjliggöra dubbelriktad överföring av el. Flera respondenter ser också ett behov av att det måste bli enklare för kunder att förstå vilken utrustning som krävs, vilka begränsningar som finns, vilken teknik som behövs för att ha möjlighet att drifta en byggnad off-grid samt hur deltagande på olika marknader påverkar dem.

Det finns också en hel del frågetecken som behöver redas ut kopplat till olika tillämpningar. Hur ska det fungera om man laddar bilen på jobbet, Vad händer om jag laddar i ett annat land? Vad händer om jag har en "gästbil" som laddar hos mig, vem får betalt och vem betalar?

Rättviseaspekter kopplat till implementering av tekniken har lyfts fram av flera respondenter. Priset för tekniken är i dagsläget högt och därmed finns det frågetecken kring hur rättviseaspekter ska hanteras. "Vem har möjlighet att delta?", "Hur ska tekniken nå en större massa?" och "Vem ska vara flexibel?", är frågor som har lyfts.

6.6 Regulatoriska utmaningar

Etablering av V2X i stor skala är beroende av regler som omfattar hela EU, så som datadelning, betalningsprocess och interoperabilitet [3]. Det finns ett behov av lagar som beskriver roller och ansvar för de nya aktörerna på marknaden och interaktionen mellan nya och redan existerande aktörer [3]. Respondenter har lyft fram att det saknas harmonisering mellan standarder och att det finns olika dialekter inom vissa vilket försvårar kommunikationen. Det efterfrågas därför interoperabilitet mellan alla delar för att skapa möjlighet till integrering mellan alla system och för att undvika teknisk inlåsning.

En barriär vid formulering av lagar och reglering är att det fortfarande finns behov av vetenskaplig forskning om hur dubbelriktad överföring påverkar elkvalitet och batteriets livslängd [70].

Ett problem med nuvarande standarder är att de är utformade för att klara enkelriktad laddning. Uppdaterade standarder kan hjälpa industrin att designa nya system som klarar av dubbelriktade flöden [2]. Därför efterfrågas ett regelverk med tydliga krav på vilka kommunikationsprotokoll som ska användas [3]. Respondenter har också nämnt att det tar lång tid att implementera standarder och att det finns behov av att det går snabbare nu när marknaden utvecklas snabbt.

Cybersäkerheten i systemet blir väldigt viktig när det implementeras i stor skala. En konsekvens av digitaliseringen är risken att systemet kan påverkas kraftigt eller kollapsar om falska data och styrsignaler finns i systemet. Dessutom måste bilägares data hanteras med rätt sekretess, integritet och validitetskrav. [70] Inom näringslivet finns det också frågetecken kring vilken data som ska delas, hur ofta och till vem för att möjliggöra olika tjänster. Data ses av flera aktörer som en värdefull resurs ur ett konkurrensperspektiv.

Frågetecken finns kring hur prioritering ska göras mellan olika marknader på lokal och nationell nivå, hur olika marknader ska samverka med varandra, och hur styrsignaler ska utvecklas för att inte skapa stora belastningar på nätet om alla resurser börjar ladda i eller ur batteriet samtidigt. Flera respondenter har nämnt vikten av att implementera tekniken på ett sätt som inte skapar nya problem mellan underliggande och överliggande nät vid implementering av tekniken. Bland elnätsbolagen ses ett behov av att kunna skicka ut styrsignaler till aktörer för att inte skapa problem i nätet när de erbjuder resurser. Det finns regulatoriska hinder i dagsläget som gör att elnätsbolag inte får styra någons effektuttag eller hur mycket ett batteri matar in på nätet och flera aktörer från elnätsbolag ser ett behov av ändringar i regelverket för att systemet ska

fungera bättre. En annan viktig faktor är behovet av att möjliggöra oberoende aggregering för att frigöra potentialen från V2G att göra nytta i elsystemet.

6.7 Övriga utmaningar och forskningsbehov

Bland övriga utmaningar som nämns i litteraturen och bland respondenterna i studien märks till exempel tillgång till data. I en studie dras slutsatsen att slutkunden idag saknar tillgång till data från bilen, vilket gör det svårare för dem att i sin tur sälja tjänster till tredjepartsaktör. Ett annat hinder som nämns är att marknadsmognaden är låg på grund av bristande dialog mellan olika aktörer [3]. Även bland respondenterna i intervjustudien nämns att det är många aktörer inblandade och därför svårt att få till rätt produkt på rätt plats, samt att konkurrensen om data är stor.

En annan åsikt som lyftes bland flera respondenter i intervjustudien var att det som behövs för att tekniken ska kunna rullas ut inte främst är mer forskning på enskilda utmaningar eller på teknikutveckling, utan att det behövs storskaliga pilotprojekt eller kommersiella projekt i stor skala inom näringslivet för att testa teknik och affärsmodeller i verkligheten. Behovet av en testbädd eller testmiljö för att kunna utvärdera interoperabiliteten mellan olika tekniker och standarder har också lyfts fram av flera aktörer under studiens gång.

Avsaknad av kompetens och kunskap som behövs längs hela värdekedjan för V2X nämns också som utmaningar av flera deltagare i studien, allt ifrån kunskap hos användaren som diskuteras ovan, till bristande kompetens hos installatörer av tekniken samt bristande förståelse hos lagstiftare och myndigheter för potentiell nytta med tekniken försvårar implementering.

Slutligen har frågan om framtida potential och behov av att utveckla dubbelriktad laddning även för tung trafik och sjöfart nämnts som områden som skulle behöva undersökas och där det i dagsläget helt verkar saknas studier kring tillämplighet.



7

Standarder – Nuläge och behov av utveckling

Med dagens standarder och protokoll är det möjligt att genomföra smart laddning, men för att möjliggöra nyttorna med dubbelriktad laddning behöver kommunikationsinfrastrukturen utvecklas [70]. Desto mer avancerad styrningen blir, desto högre blir kraven på att kommunikationen mellan alla aktörer fungerar [73]. En viktig del för att realisera V2X är att det ska vara smidigt för användaren att ansluta fordonet till en laddare som erbjuder efterfrågade tjänster. För att det ska vara möjligt krävs det interoperabilitet, förmågan hos system att kunna kommunicera med varandra, mellan alla aktörer i värdekedjan [3], vilket också har påpekats av respondenter i studien. En av de största barriärerna för storskalig integrering av V2X i dagsläget är avsaknaden av interoperabilitet och standardisering mellan olika system och teknologier, vilket i sin tur kan leda till kompatibilitetsproblem mellan olika leverantörer [53].

Respondenter har också påpekat att det finns en rädsla för att etableringen av V2X drabbas av samma problematik som vid etablering av laddare för enkelriktad laddning, nämligen att även länder inom Europa har olika elinstallationsstandarder, vilket innebär att produkter måste anpassas för varje marknad och det finns risk för att det tar längre tid att etablera tekniken. Flera respondenter har dessutom uppgett att flera forskningsprojekt har blivit försenade till följd av problem med kommunikationsprotokoll mellan elbil och laddare.

Europeiska lagar har hittills främst fokuserat på att hårdvaran ska standardiseras, exempelvis att bilar som laddas via växelström ska använda en Typ2 kontakt och laddning via likström ska använda CCS kontakt [3]. Gällande utvecklingen av standarder har det nämnts att USA har kommit längre än Europa och att det borde finnas möjlighet att ta inspiration från dem inom vissa områden. Följande organisationer har identifierats arbeta med att utveckla standarder som kan vara relevanta för att möjliggöra V2X [2]:

- IEC (International Electrotechnical Commission)
- SAE (Society of Automotive Engineers)
- IEEE (Institute for Electrical and Electronic Engineering)
- IWC (Infrastructure Working Council)
- ISO (International Organization for Standardization)

IEC TC 69 är en arbetsgrupp som arbetar med att utforma internationella standarder för vägfordon som helt eller delvis drivs med el från medförda strömkällor och för eldrivna truckar. Standarderna innehåller generella krav (säkerhet, EMC, konstruktion, tester), funktionella krav, kommunikation mellan elbil och laddinfrastruktur och framöver även dubbelriktad laddning. [74]

Fyra huvudsakliga kommunikationsflöden har identifierats [75] [76]:

- Kommunikation mellan elbil (EV) och laddstolpe (EVSE/CP)
- Kommunikation mellan EVSE och det centrala styrsystemet (CPO) (Back-end)
- Kommunikation mellan CPO och EMSPs/E-Roaming plattformar
- Kommunikation mellan CPO och energisystemet (integrering med elnätet)

Internationella och europeiska standardiseringsorganisationer arbetar just nu med att utveckla standarder som är interoperabla med varandra. För kommunikation mellan EV-EVSE föreslås ISO 15118-20 användas. För kommunikation mellan EVSE-CPO föreslås IEC 63110 och mellan CPO och EMSPs/E-Roaming plattformar utvecklas IEC 63119. [76]

Nedan beskrivs de standarder som har identifierats under studiens gång.

Elbil <-> Laddstolpe

För att V2G ska vara möjligt behöver informationsutbyte ske mellan bil och laddstolpe gällande bland annat behörigheter, elavtal, tids- och platsstämplar, information om tariffer och fakturering, energibehov, nätkoder, schemaläggning och batteristatus [73]. ISO 15118-20 publicerades 26 april 2022 och beskriver hur kommunikationen mellan elektriska fordon och laddinfrastruktur ska göras. I standarden definieras bland annat hur kommunikationen ska utformas för smart laddning, säker kommunikation, Plug & Charge, dubbelriktad laddning och trådlös laddning [76]. En konsekvens av att standarden är så pass ny är att det inte finns fordon och laddare på marknaden som har implementerat den ännu [3]. Många av de tester som gjorts inom V2G har använt den japanska CHAdeMO-standarderna men den håller på att fasas ut och ersätts med CCS i Europa [3]. En utmaning i dagsläget är att det saknas testutrustning för att undersöka att tekniken uppfyller standarden, vilket leder till att tester behöver göras direkt mot bil. Det behövs en teststandard för att garantera att ISO15118-20 följs och utvecklingen av denna teststandard är i ett mycket tidigt skede. ISO15118-20 innehåller inte säkerhets- och funktionskrav gällande elnät, elanläggning eller laddare [73].

IEC 61851 är standardprotokoll för laddning av elbilar i Europa för laddning med både AC och DC [3]. IEC 61851 innehåller krav för vad som gäller kring design av hårdvara, elsäkerhet, EMC och kommunikation för som krävs vid laddning av elfordon [77]. I protokollet finns det stöd för smart laddning genom att justera effekten men det saknas ännu stöd för dubbelriktad laddning [3]. Protokollet är därför i behov av uppdatering då det saknas stöd för utbyte av information mellan elbilen och laddstationen, exempelvis State-of-charge i batteriet [70]. IEC 61851 består av flera delar och det pågår just nu ett arbete med att uppdatera delar i standarden.

- IEC 61851-1 ED4 Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements - beskriver generella krav för konduktiv laddning vid AC. Komplettering med V2X pågår och beräknat publiceringsdatum är slutet på mars 2025 [73] [78].
- IEC 61851-23 ED2- Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle supply equipment beskriver krav för konduktiv laddningsstation [79]. Det pågår en komplettering av standarden som ska vara klar i slutet på juli 2023, det är dock inte säkert att dubbelriktad laddning kommer med. Ifall krav om dubbelriktad laddning inte kommer med kan det göras ett tillägg för att få det på plats.
- IEC 61851-24 ED2 - Electric vehicle conductive charging system - Part 24: Digital communication between a DC EV charging station and an electric vehicle for control of DC charging. Beskriver hur kommunikationen ska göras vid DC-laddning [80]. Det pågår en komplettering av standarden som ska vara klar i slutet på juli 2023, det är dock inte säkert att dubbelriktad laddning kommer med.

Laddpunkt <-> styrsystem

Open Charge Point Protocol (OCPP) är en inofficiell standard som används för att standardisera kommunikation mellan laddstationen och det centrala styrsystemet. OCPP innehåller i dagsläget inte information om hur V2X ska styras men det pågår ett arbete, som förväntas vara klart under 2023, med att utveckla OCPP 2.1 för att möjliggöra V2X via både CHAdeMO och ISO 15118-20. [3] [70]

Det pågår ett arbete med att utveckla IEC 63110-serien, en officiell standard som täcker in de nuvarande funktionerna i OCPP samt dubbelriktad laddning [3] [70]. IEC har publicerat IEC 63110-1:2022 Part 1: *Basic definitions, use cases and architectures* som ligger till grund för utvecklingen av resterande standarder i serien [81]. Standarden täcker in definitioner, användarfall och arkitekturer för infrastrukturen för i- och urladdning. Standarden innehåller de allmänna kraven för etablering av ett e-mobilitets-ekosystem, och omfattar kommunikationsflöden mellan olika e-mobilitetsaktörer samt dataflöden med elkraftssystemet. IEC 63110-2 ED1 *Protocol for Management of Electric Vehicles charging and discharging infrastructures - Part 2: Technical protocol specifications and requirements* som specificerar hur dubbelriktad laddning ska styras förväntas vara klar först 2025 [82]. Det är oklart vilken roll IEC 63110-serien kommer få när den är redo för marknaden och hur lik OCPP den kommer vara [3]

CPO och EMSPs/E-Roaming plattformar

För att möjliggöra både enkelriktad och dubbelriktad laddning vid publika laddplatser behöver bil och laddare kunna kommunicera med varandra. Stakeholders inom e-mobilitet har därför utvecklat protokoll som möjliggör roaming, dvs att förare kan ladda elbilen vid olika laddare [83]. Det finns minst fyra olika protokoll i Europa som möjliggör roaming, dessa är: Open Charge Point Interface protocol (OCPI), Open Clearing House Protocol (OCHP), eMobility Interoperation Protocol (eMIP), och Open InterCharge Protocol (OICP) [70] [76] [83]. De grundläggande funktionerna som behövs för att möjliggöra roaming är auktorisering, fakturering, tillhandahålla information om laddningspunkten och laddningssessionen, och möjlighet till fjärrstart-/

stoppkommandon till laddningen [83]. I april 2022 var det enbart OCPI som hade stöd för smart laddning [83], men det pågår ett arbete med att utveckla OICP V3.0 som ska vara kompatibel med ISO 15118 [76].

Ett optimalt roamingprotokoll skulle vara att föraren bland annat kan göra inställningar för hur bilen ska laddas och hur betalning ska göras hos sin Mobility service provider (MSP) som sedan kommunicerar förarens preferenser till den lokala CPO:n. I dagsläget är dessa protokoll inkompatibla med varandra vilket medför att föraren ofta behöver skapa konto hos flera aktörer för att kunna ladda bilen. [83] IEC 63119 är under utveckling och är en möjlig väg för att harmonisera kommunikationen mellan CPOs och EMPs vid roaming i hela Europa [70] [76] [83]. Andra potentiella vägar framåt är att protokollen harmoniseras eller att något av dem blir dominerande [83].

IEC 63119-1:2019 specificerar villkor och definitioner, generell beskrivning av systemet, klassifikationer, informationsutbyte och säkerhetsaspekter för roaming mellan EV charge service providers (CSP), charging station operators (CSOs) och clearing house [84]. IEC 63119:2:2022 specificerar vilken information som ska utbytas mellan EV charging service provider (CSP) och Charging station operators (CSO) [85].

CPO <-> Energisystemet

En viktig del framöver är att utveckling av kommunikationsstrukturen mellan CPO och aktörer inom elsystemet så som TSO, DSO, aggregator och marknadsplatsoperatör [76]. Kommunikationen behöver utvecklas för att ta hänsyn till begränsningar i elnätet och samtidigt uppfylla mobilitetsbehoven [76]. I dagsläget finns det några olika protokoll som används, IEC 62746-10-1 ED1 (även känd som Open ADR 2.0) och OSCP men det finns ett behov av ett gemensamt tillvägagångssätt i hela EU [76]. Framöver förutspås kommunikationen mellan CPOs, ENSOs, elnätsoperatörer och användare harmoniseras under IEC 61850 [76]. IEC 61850 definierar kommunikationsprotokoll för intelligenta elektroniska enheter vid elektriska transformator-stationer [76].

IEC arbetar just nu med att utveckla serien IEC 63382, Management of Distributed Energy Storage Systems based on Electrically Chargeable Vehicles (ECV-DESS), som kommer bestå av tre delar, Part 1: Definitions, Requirements and Use Cases, Part 2: Data models Protocols, Messages och Part 3: Conformance tests. Standarden ska möjliggöra för aggregatorer att använda elbilar för V1G, V2G och V2X. Standarden kommer definiera de tekniska och affärsmässiga kraven som behövs för att tillgängliggöra det stöd som elbilar kan erbjuda nätet. [86] Planerat publiceringsdatum för del 1 är 30 september 2024 [87].



8

Slutsatser och rekommendationer

V2X är ett relativt nytt område inom forskningen och många projekt har startats upp de senaste åren, eller är på väg att startas upp, vilket gör att det är svårt att bedöma var forskningsfronten ligger och vad de största behoven är för nya projekt, då resultat i många fall ännu inte publicerats. Även om det finns flera exempel på pilotprojekt och tester runt om i världen, och även i viss mån i Sverige, är utrullningen av teknik och affärsmodeller för V2X ännu i sin linda. De flesta deltagare i denna studie tror att tekniken kommer börja komma på plats inom 1–5 år. I detta kapitel ges en sammanfattning av vad som bedöms vara de viktigaste stegen härnäst för att implementera dubbelriktad laddning i stor skala och kunna dra nytta av de möjligheter som tekniken erbjuder.

Genom intervjustudie och analys av befintlig litteratur har en sammanställning gjorts vilka hinder som står i vägen för en storskalig implementering av V2X idag, och dessa kan sammanfattas i tekniska, ekonomiska, regulatoriska och sociala utmaningar. Till tekniska utmaningar hör bland annat behovet av att studera närmare hur dubbelriktad laddning påverkar elkvalitet, elsäkerhet och batterislitage, men generellt dras slutsatsen att det inte främst är tekniska utmaningar som begränsar utvecklingen i nuläget. Den största tekniska utmaningen i dagsläget är kanske att få fler bilmodeller och laddare färdiga för att hantera dubbelriktad laddning, och att ett teknikval kan komma att behöva göras kring var styrutrustningen ska sitta – i bilen eller i laddstolpen. I dagsläget tycks dock de två teknikerna utvecklas parallellt och flera deltagare i den här studien tror att de har möjlighet att samexistera med olika tillämpningar. Den största ekonomiska utmaningen tycks i dagsläget vara att laddare som klarar dubbelriktad laddning fortfarande är dyra, alternativt att bilarna blir dyrare om styrutrustningen sitter i bilen.

Till regulatoriska utmaningar hör behovet av att utveckla reglering på EU-nivå för att hantera nya marknadsaktörer inom smart laddning och V2X, samt behovet av att vidareutveckla standarder för ökad interoperabilitet, även om det pågår mycket arbete kring standardisering för närvarande. Behovet av att få lagstiftning och reglering på plats för oberoende aggregatorer har också nämnts, då de är en viktig aktör i flexibilitetskedjan. Frågor kring marknadsomognad, avtal och hur olika marknader och aktörer samverkar med varandra har också lyfts fram som områden som behöver utvecklas vidare. Cybersäkerhet och datatillgång är också utmaningar som identifierats och områden där det kan behövas mer studier.

I nuläget kanske de sociala utmaningarna och utmaningar kopplat till affärsmodeller är de största hindren, och de områden som är i störst behov av mer forskning. En fråga som återkommer både i litteraturen och hos deltagarna i denna studie är att kunskapsnivån kring V2X är låg hos allmänheten och att många identifierade hinder, exempelvis kopplat till batterislitage

och räckviddsångest, kanske snarare handlar om bristande kunskap än om verkliga tekniska begränsningar. Insatser skulle därför behöva göras för att öka och sprida kunskap kring V2X, både från befintlig forskning men också genom storskaliga tester av tekniken hos en större bredd av människor. Rättviseaspekter kopplat till implementering av V2X specifikt, men också kring flexibilitet i allmänhet, har lyfts fram av flera respondenter som ett område som kräver mer forskning. Vem har möjlighet och skyldighet att vara flexibel, vem ska betala för tekniken och vem är det som tjänar på leverans av flexibilitetstjänster?

Sammanfattningsvis är de områden som är i störst behov av forsknings- och utvecklingsinsatser i nuläget följande:

- Ett kunskapslyft behövs generellt för att öka kompetensen och höja kännedomen om möjligheterna med V2X både hos användarna och hos delar av branschen
- Storskaliga verkliga tester av teknik och affärsmodeller skulle behöva utföras
- Forskning och/eller utredning kring hur olika ägarskapsmodeller, nya mobilitetstrender och tekniker för V2X påverkar affärsmodeller och potentiell lönsamhet och nytta
- Mer forskning behövs kring sociala aspekter och användarens roll
- Forskning kring rättviseaspekter kopplat till V2X och flexibilitet i allmänhet behövs
- Det behöver utredas hur olika marknader och aktörer samverkar och kan samverka bättre med varandra i framtiden för att möjliggöra V2X
- Arbetet med standardisering behöver fortsätta
- Studier behövs kring hur interoperabiliteten kan öka för att skapa möjlighet till integrering mellan alla system och för att undvika teknisk inlåsning. En testbädd eller liknande miljö för att utvärdera interoperabilitet mellan olika tekniker och standarder efterfrågas av flera forskare och näringslivsaktörer
- Tillgång till data och cybersäkerhet som följer med datadelning är områden som behöver studeras vidare



Referenslista

- [1] J. Barr och M. Topel, "Långsiktiga scenarier för introduktion av elfordon," Energiforsk rapport 2022:899, 2022, ISBN 978-91-7673-899-3.
- [2] R. Khezri, D. Steen och L. A. Tuan, "Vehicle to Everything (V2X) - A Survey on Standards and Operational Strategies," i 2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Prag, Tjeckien, 2022, sida 1-6, doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope54979.2022.9854561.
- [3] S. Langenhuizen, H. van Sambeek, M. Zweistra, S. van der Wilt och W. Christiaens, "Stakeholder analysis Project deliverable D1.2," 30 11 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://scale-horizon.eu/publications/>. [Använd 04 01 2023].
- [4] Power Circle, "Vad är smart laddning? Faktablad från Power Circle," Power Circle , 2021.
- [5] R. Khezri, D. Steen och L. A. Tuan, "A Review on Implementation of Vehicle to Everything (V2X): Benefits, Barriers and Measures," i 2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), Novi Sad, Serbien, 2022, Sidor 1-6, doi: 10.1109/ISGT-Europe54678.2022.9960673.
- [6] C. Corchero, M. Sanmartí, S. González-Villafranca och N. Chapman, "V2X ROADMAP," IEA, 2019.
- [7] L. Jones, K. Lucas-Healey, B. Sturmberg, H. Temby och M. Islam, "The A–Z of V2G A comprehensive analysis of vehicle-to-grid technology worldwide," Januari 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://dl.airtable.com/.attachments/9616e6c041236cf912390b79f54ea639/f6cb15ab/revs-the-a-to-z-of-v2g.pdf>. [Använd 28 11 2022].
- [8] ENTSO-E, "ENTSO-E Position Paper Electric Vehicle Integration into Power Grids," 31 03 2021. [Online]. Tillgänglig: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Position%20papers%20and%20reports/210331_Electric_Vehicles_integration.pdf.
- [9] S. Islam, A. Iqbal, M. Marzband, I. Khan och A. Al-Wahedi, "State-of-the-art vehicle-to-everything mode of operation of electric vehicles and its future perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 166, September 2022, ISSN 1364-0321.
- [10] C. Gschwendtner, S. R. Sinsel och A. Stephan, "Vehicle-to-X (V2X) implementation: An overview of predominate trial configurations and technical, social and regulatory challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 145, Juli 2021, ISSN 1364-0321.
- [11] Everzone & EVConsult, "V2G Global Roadtrip: Around the world in 50 projects -lessons learned from fifty international vehicle-to-grid projects," 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://innovation.ukpowernetworks.co.uk/wp-content/uploads/2018/12/V2G-Global-Roadtrip-Around-the-World-in-50-Projects.pdf>.
- [12] S. Taghizadeh, M. J. Hossain, N. Poursafar, J. Lu och G. Konstantinou, "A Multifunctional Single-Phase EV On-Board Charger With a New V2V Charging Assistance Capability," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 116812-116823, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3004931.
- [13] NEPP, "Energisystemet i en ny tid - Halvtidsrapport från NEPP:s andra etapp," 2019.
- [14] Power Circle, Vad är V2G - Vehicle to Grid, 2020.

- [15] W. Kempton och S. E. Letendre, "Electric Vehicles as a new power source for electric utilities," *Transportation Research part D: transport and Environment*, pp. Volume 2, Issue 3, 157-175, 1997.
- [16] J. Tannerstad, "Nu tas nästa steg som bidrar till att kapa effekttoppar i Örebro," Örebrobostäder, 07 12 2018. [Online]. Tillgänglig: <https://www.mynewsdesk.com/se/orebrobostader/pressreleases/nu-tas-naesta-steg-som-bidrar-till-att-kapa-effekttoppar-i-oerebro-2811163>. [Använd 06 03 2023].
- [17] E. Wallner, "Om planerna kring vehicle-to-grid med Alexandra Österplan från Nissan," Solcellskollen, 01 06 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://www.solcellskollen.se/blogg/om-planerna-kring-vehicle-to-grid-med-alexandra-osterplan-fran-nissan>. [Använd 06 03 2023].
- [18] Energimyndigheten, "Programbeskrivning för programmet Swedish Electromobility Centre etapp IV," 2019, Diari nr 2019-009329.
- [19] Swedish Electromobility Centre, "Road map theme 5: Vehicle-grid interaction," 13 01 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://emobilitycentre.se/wp-content/uploads/2023/01/SEC-roadmap-theme-5-230113.pdf>. [Använd 27 02 2023].
- [20] RISE, "Sveriges testbädd för elektromobilitet etableras i Göteborg, Nykvarn och Borås," 08 03 2021. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ri.se/sv/nyheter/sveriges-testbadd-for-elektromobilitet-etableras-i-goteborg-nykvarn-och-boras>. [Använd 28 02 2023].
- [21] Chalmers, "Om SESBC," 17 02 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.chalmers.se/centrum/sesbc/om-oss/>. [Använd 01 01 2023].
- [22] Chalmers, "Forskning SESBC," 17 02 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.chalmers.se/centrum/sesbc/forskning/>. [Använd 01 01 2023].
- [23] STandUP for Energy, "Om oss," [Online]. Tillgänglig: <https://www.standupforenergy.se/om-oss/>. [Använd 21 03 2023].
- [24] StandUP for Energy, "El- och hybridfordon," [Online]. Tillgänglig: <https://www.standupforenergy.se/vara-omraden/el-och-hybridfordon/>. [Använd 21 03 2023].
- [25] Uppsala universitet, "Pågående forskningsprojekt USER," Uppsala universitet, 02 11 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.uu.se/forskning/forskargrupper/user/forskningsprojekt-user/>. [Använd 20 03 2023].
- [26] J. Leijon och C. Boström, "Charging Electric Vehicles Today and in the Future," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 13, nr 8, p. 139, 2022, doi.org/10.3390/wevj13080139.
- [27] Chalmers, "Elbilar till allting – Mobilitet med extra tjänster (V2X-MAS)," 10 02 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://research.chalmers.se/en/project/10258>. [Använd 24 02 2023].
- [28] Chalmers, "Loggning av elbilsanvändning - karakterisering av kör- och laddmönster och påverkan på elnätet," 21 09 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://research.chalmers.se/project/10770>. [Använd 24 02 2023].
- [29] Energiforsk, "Ett elsystem för elfordon: Om projektet," [Online]. Tillgänglig: <https://energiforsk.se/program/ett-elsystem-for-elfordon/om-projektet/>. [Använd 06 03 2023].
- [30] Energiforsk, "Åtgärder och lösningar för storskalig elektrifiering av fordonsflottan," [Online]. Tillgänglig: <https://energiforsk.se/program/ett-elsystem-for-elfordon/arbetspaket/%C3%A5tgarder-och-losningar-for-storskalig-elektrifiering-av-fordonsflottan/>. [Använd 06 03 2023].

- [31] Chalmers, "PEPP - Public EV Power Pilots," 17 02 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://research.chalmers.se/en/project/11052>. [Använd 24 02 2023].
- [32] Lindholmen Science Park, "PEPP – Public EV Power Pilots," [Online]. Tillgänglig: <https://www.lindholmen.se/sv/projekt/pepp-public-ev-power-pilots>. [Använd 05 04 2023].
- [33] Energimyndigheten, "30 miljoner till framtidens elmarknad," 05 02 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/30-miljoner-till-framtidens-elmarknad/>. [Använd 24 02 2023].
- [34] "V2G HUB global map," [Online]. Tillgänglig: <https://www.v2g-hub.com/projects/piha-vehicle-to-home-v2h-trial>. [Använd 21 03 2023].
- [35] M. N. Eisler, *Age of Auto Electric - Environment, Energy, and the Quest for the Sustainable Car*, MIT Press, 2022, ISBN 9780262544573.
- [36] EV, Kompositör, *V2G Explained with Paul Vosper*. [Ljudupptagning]. Ev Chat Podcast. 2022.
- [37] Ford Motor, "Enhanced Pro Power Onboard," 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ford.com/trucks/f150/f150-lightning/features/capability/?intcmp=reVhp-featcta-capability-play-f-150-lightning#unleashing>. [Använd 21 mars 2023].
- [38] M. J. Coren, "Electric vehicles can now power your home for three days," *Washington Post*, 7 februari 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/02/07/ev-battery-power-your-home/>. [Använd 21 mars 2023].
- [39] K. B. Roberts, "UD researchers developed today's vehicle-to-grid (V2G) technology in the 1990s," *University of Delaware*, mars 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.udel.edu/udaily/2021/march/ud-developed-vehicle-to-grid-technology-gains-traction/>. [Använd 21 mars 2023].
- [40] L. Gleason, "Technology milestone reached," *University of Delaware, UD Daily*, 2 maj 2013. [Online]. Tillgänglig: <http://www1.udel.edu/udaily/2013/may/vehicles-grid-050213.html>. [Använd 21 mars 2023].
- [41] M. Lewis, "New York's vehicle-to-grid e-school bus pilot program is a success," *Electrek*, 14 december 2020. [Online]. Tillgänglig: <https://electrek.co/2020/12/14/new-york-vehicle-to-grid-school-bus-pilot-program-success/>. [Använd 21 mars 2023].
- [42] "V2G hub - projects around the world," [Online]. Tillgänglig: <https://www.v2g-hub.com/projects/distribution-system-v2g-for-improved-grid-stability-for-reliability/>. [Använd 18 mars 2023].
- [43] M. Simpson, "SPIDERS Bi-Directional Charging Station Interconnection Testing," U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information, United States, 2013, NREL/TP-5400-60222.
- [44] California Energy Commission, "Vehicle-Grid Integration," [Online]. Tillgänglig: <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/vehicle-grid-integration>. [Använd 21 mars 2023].
- [45] R. Gadh, "Demonstrating Plug-in Electric Vehicles Smart Charging and Storage Supporting the Grid," *UCLA, Los Angeles*, 2018.
- [46] Battery Storage and Grid Integration Program, "About," 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://bsgip.com/about/>. [Använd 11 04 2023].

- [47] Battery Storage and Grid Integration Program, "Realising Electric Vehicle-to-grid Services," [Online]. Tillgänglig: <https://bsgip.com/research/realising-electric-vehicles-to-grid-services/>. [Använd 11 04 2023].
- [48] REVS, "REALISING ELECTRIC VEHICLES-TO-GRID SERVICES," [Online]. Tillgänglig: <https://secs.accenture.com/accenturems/revs/>. [Använd 11 04 2023].
- [49] C. Binding, D. Gantenbein, B. Jansen, O. Sundström, P. Bach Andersen, F. Marra, B. Poulsen och C. Træholt, "Electric vehicle fleet integration in the danish EDISON project - A virtual power plant on the island of Bornholm," i *IEEE PES General Meeting*, Minneapolis USA, 2010, sidor: 1-8, doi: 10.1109/PES.2010.5589605.
- [50] P. B. Andersen, S. H. Toghroljerdi, T. M. Sørensen, B. E. Christensen, J. C. Morell Lodberg Høj och A. Zecchino, "The Parker Project, final report," EUDP, 2019.
- [51] Innovate UK, "Innovate UK innovation outcomes and impact," Innovate UK, 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ukri.org/about-us/how-we-are-doing/research-outcomes-and-impact/innovate-uk/>. [Använd 20 mars 2023].
- [52] Kaluza, "What's next for Vehicle-to-Everything?," Kaluza White paper, 2022.
- [53] T. Horschig, O. Özgün och F. Jones, "How vehicle-to-everything (V2X) can turbocharge the energy transition," DNV, 04 04 2023. [Online]. Tillgänglig: https://www.dnv.com/energy-transition-outlook/v2x.html?utm_campaign=GR_GLOB_23Q1_PROM_ETO_2023_V2X_Article&utm_medium=email&utm_source=Eloqua. [Använd 06 04 2023].
- [54] UK Gov, "V2X Innovation programme," 24 mars 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.gov.uk/government/publications/v2x-innovation-programme>. [Använd 20 mars 2023].
- [55] Kaluza, "Kaluza launches a world-leading vehicle-to-everything trial with Volkswagen Group UK, OVO Energy and Indra," 23 januari 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.kaluza.com/kaluza-launches-a-world-leading-vehicle-to-everything-trial-with-volkswagen-group-uk-ovo-energy-and-indra/>. [Använd 20 mars 2023].
- [56] Elaadnl, "The V2X edition," 09 02 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://elaad.nl/en/march-28-30-global-ev-charging-test-v2x-edition/>. [Använd 14 03 2023].
- [57] Cityzen, "A tale of Two Cities," 2019. [Online]. Tillgänglig: http://www.cityzen-smartcity.eu/wp-content/uploads/2019/11/interactive_final-deliverable-book.pdf.
- [58] Smart Solar Charging, "Smart Solar Charging internationally recognized with IEA ISGAN Award," 27 09 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://smartsolarcharging.eu/en/smart-solar-charging-internationally-recognized-with-iea-isgan-award/>. [Använd 19 02 2023].
- [59] "ROBUST - Een toekomstbestendig en betaalbaar elektriciteitsnet," [Online]. Tillgänglig: <https://tki-robust.nl/>. [Använd 28 03 2023].
- [60] "FLEET: Slim laden met flexibele nettarieven," [Online]. Tillgänglig: <https://ssc-fleet.nl/>. [Använd 28 03 2023].
- [61] IRIS smart cities, "Utrecht," [Online]. Tillgänglig: <https://showcase.irissmartcities.eu/utrecht/>. [Använd 26 04 2023].
- [62] SCALE, "Vehicle to Public," [Online]. Tillgänglig: <https://scale-horizon.eu/vehicle-to-public/>. [Använd 05 04 2023].

- [63] Europeiska rådet och Europeiska unionens råd, "Horisont Europa: innovations- och forskningsinvesteringar med effekt," 10 06 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.consilium.europa.eu/sv/policies/horizon-europe/>. [Använd 28 02 2023].
- [64] Europeiska kommissionen, "System approach to achieve optimised Smart EV Charging and V2G flexibility in mass-deployment conditions (2ZERO)," [Online]. Tillgänglig: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/horizon-cl5-2021-d5-01-03;callCode=null;freeTextSearchKeyword=2ZERO;matchWholeText=true;typeCodes=1,0;statusCodes=31094503;programmePeriod=null;programCcm2Id>. [Använd 28 02 2023].
- [65] Europeiska kommissionen, "Delivering Renewal and Innovation to mass Vehicle Electrification enabled by V2X technologies," 17 01 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://cordis.europa.eu/project/id/101056934>. [Använd 28 02 2023].
- [66] Europeiska kommissionen, "Electric Vehicles Management for carbon neutrality in Europe," 03 08 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://cordis.europa.eu/project/id/101056765>. [Använd 28 02 2023].
- [67] Europeiska kommissionen, "Flexible energy systems Leveraging the Optimal integration of EVs deployment Wave," 15 09 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://cordis.europa.eu/project/id/101056730>. [Använd 28 02 2023].
- [68] Europeiska Kommissionen, "Large scale system approach for advanced charging solutions," 23 12 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://cordis.europa.eu/project/id/101056756>. [Använd 28 02 2023].
- [69] Europeiska Kommissionen, "SCALE - Smart Charging ALignment for Europe," 02 08 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://cordis.europa.eu/project/id/101056874>. [Använd 28 02 2023].
- [70] J. Meersmans, "Analysis of hard- and software requirements," 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://scale-horizon.eu/publications/>. [Använd 14 03 2023].
- [71] ACER, "Connection Codes," [Online]. Tillgänglig: <https://www.acer.europa.eu/electricity/connection-codes>. [Använd 12 04 2023].
- [72] N. Baumgartner, F. Kellerer, M. Ruppert, S. Hirsch, S. Mang och W. Fichtner, "Does experience matter? Assessing user motivations to accept at vehicle-to-grid charging tariff," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 113, december 2022, doi.org/10.1016/j.trd.2022.103528.
- [73] Energimyndigheten, "Smart styrning av elanvändning - Analys av tekniska förutsättningar för utrustning samt rekommendationer för ökad efterfrågeflexibilitet," Statens energimyndighet, 2023, ISBN (pdf) 978-91-7993-118-6.
- [74] IEC, "TC 69 Electrical power/energy transfer systems for electrically propelled road vehicles and industrial trucks," [Online]. Tillgänglig: https://www.iec.ch/ords/f?p=103:7:703762273441133:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1255,25. [Använd 02 03 2023].
- [75] P. Klapwijk och L. Driessen, "EV RELATED PROTOCOL STUDY," 2017.
- [76] European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Report (Activity 1) of the STF Sub-group on Governance & Standards, "Mapping of the discussion concerning standards and protocols for communication exchange in the electromobility ecosystem," Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022.

- [77] SEK Svensk Elstandard, "Elfordon - Konduktiv laddning - Del 1: Allmänna fordringar," [Online]. Tillgänglig: <https://elstandard.se/standard/2136301>. [Använd 07 03 2023].
- [78] TC 69, "Electrical power/energy transfer systems for electrically propelled road vehicles and industrial trucks," IEC, [Online]. Tillgänglig: https://www.iec.ch/ords/f?p=103:38:703762273441133:::FSP_ORG_ID,FSP_APEX_PAGE,FSP_PROJECT_ID:1255,23,109033. [Använd 07 03 2023].
- [79] IEC, "Electrical power/energy transfer systems for electrically propelled road vehicles and industrial trucks," [Online]. Tillgänglig: https://www.iec.ch/ords/f?p=103:38:703762273441133:::FSP_ORG_ID,FSP_APEX_PAGE,FSP_PROJECT_ID:1255,23,109033. [Använd 07 03 2023].
- [80] IEC, "Electrical power/energy transfer systems for electrically propelled road vehicles and industrial trucks," [Online]. Tillgänglig: https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:38:0:::FSP_ORG_ID,FSP_APEX_PAGE,FSP_PROJECT_ID:1255,23,23206. [Använd 07 03 2023].
- [81] IEC, "IEC 63110-1:2022," [Online]. Tillgänglig: <https://webstore.iec.ch/publication/60000#additionalinfo>. [Använd 07 03 2023].
- [82] IEC, "Electrical power/energy transfer systems for electrically propelled road vehicles and industrial trucks," [Online]. Tillgänglig: https://www.iec.ch/ords/f?p=103:38:734997385624612:::FSP_ORG_ID,FSP_APEX_PAGE,FSP_PROJECT_ID:1255,23,100391. [Använd 07 03 2023].
- [83] M. van der Kam och R. Bekkers, "Mobility in the Smart Grid: Roaming Protocols for EV Charging," *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, vol. 14, nr 1, pp. 810-822, 01 2023, sidor. 810-822, doi: 10.1109/TSG.2022.3202608.
- [84] IEC TC 69, "IEC 63119-1:2019 Information exchange for electric vehicle charging roaming service - Part 1: General," 26 06 2019. [Online]. Tillgänglig: <https://webstore.iec.ch/publication/59496>. [Använd 05 04 2023].
- [85] IEC TC 69, "Information exchange for electric vehicle charging roaming service - Part 2: Use cases," 18 10 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://webstore.iec.ch/publication/63130>. [Använd 05 04 2023].
- [86] IEC, "BS EN IEC 63382-1:2022 Management of Distributed Energy Storage Systems based on Electrically Chargeable Vehicles (ECV-DESS). - Part 1: Definitions, Requirements and Use Cases - Part 2: Data models Protocols, Messages - Part 3: Conformance tests," The British Standards Institution, [Online]. Tillgänglig: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/projects/2021-00790#/section>. [Använd 06 04 2023].
- [87] TC 69, "IEC 63382-1 ED1," [Online]. Tillgänglig: https://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:38:7109686557420:::FSP_ORG_ID,FSP_APEX_PAGE,FSP_PROJECT_ID:1255,23,104915. [Använd 06 04 2023].

Bilaga A Medverkande respondenter

Intervjuade aktörer

- David Steen, Chalmers
- Maria Taljegård, Chalmers
- Cajsa Bartusch Kätting, Uppsala universitet
- Olof Samuelsson, Lunds unviersitet
- Jon Williamsson, Göteborgs Universitet
- Stefan Pettersson, RISE
- Jens Hagman, RISE
- Anders Lewald, Energimyndigheten
- Christina Kvarnström, Vinnova
- Linus von Sydow, Volvo Cars
- Niklas Kilberg, Volvo Cars
- Emanuella Wallin, Polestar
- Antti Vaino, Chargepoint
- Björn Jernström, FerroAmp
- Stefan Gabrielsson, CTEK
- Peter Herbert, Vattenfall
- Pär-Ola Andersson, E.ON
Energidistribution
- Jonas Tannerstad, ÖrebroBostäder
- John Diklev, Flower Technologies

Mejlkontakt med aktörer från:

Uppsala universitet, Kungliga tekniska högskolan, Chalmers, VTI och Energiforsk.