

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Demonstration och utvärdering av induktiv laddning	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Demonstration and evaluation of inductive charging	
Universitet/högskola/företag RISE Viktoria¹	Avdelning/institution Electromobility
Adress Lindholmspiren 3A, 417 56 Göteborg	
Namn på projektledare Stefan Pettersson, stefan.pettersson@ri.se	
Namn på ev övriga projektdeltagare Vattenfall, Stockholm Stad, Gatubolaget Göteborg, Test Site Sweden/Lindholmen Science Park, Strålsäkerhetsmyndigheten	
Nyckelord: 5-7 st Elfordon, Trådlös Laddning, Induktiv laddning, Användarstudier, Testbädd Sverige, Living lab	

Blåmarkerad text i rapporten är klickbara länkar till mer information eller namngivna artiklar och publikationer.

Bilagt detta dokument är en obligatorisk administrativ bilaga enligt Energimyndighetens önskemål, samt två publikationer som ger mer information och detaljer kring dels induktionsladdningstekniken som sådan och dels användarstudien och dess resultat.

Författare

Denna rapport har författats av [Stefan Pettersson](#), [Johan Wedlin](#), [Tommy Fransson](#), [Ellen Olausson](#), [Conny Börjesson](#), [Maria Klingegård](#) och [Jonas Andersson](#), samtliga medarbetare på [RISE Viktoria¹](#). Materialet är framtaget och insamlat inom ramarna för projektet tillsammans med parterna.

Syfte

Huvudsyftet med denna rapport är att sammanfatta och sprida resultaten från det avslutade projektet *Demonstration och utvärdering av induktiv laddning*, även kallat *Wireless Charging for Electric Vehicles* eller *WiCh*.

¹ Viktoria Swedish ICT heter numera RISE Viktoria. Innventia, SP och Swedish ICT har gått samman i RISE för att bli en starkare forsknings- och innovationspartner för näringsliv och samhälle. Besök gärna ri.se för mer information om RISE.

Förord

WiCh-projektet startade i september 2012 och avslutades, efter 2 års begärd och godkänd förlängning², 31 december 2016. Den totala budgeten har varit ca 27 miljoner kronor, varav nästan 16 miljoner härrör från parterna, huvudsakligen som in-kind (in natura) i form av tillgång till bilar, fordonsansvariga och användare.

Trots flera motgångar under projektets gång lyckades projektet till slut nå samtliga uppsatta mål och samtidigt någotsånär hålla budgeten; det har blivit en del extrakostnader efter projektavslut som parterna fått bekosta själva.

Projektet har finansierats av Energimyndighetens Demonstrationsprogram för elfordon och av projektparterna [Vattenfall](#), [Stockholm Stad](#) (Miljöförvaltningen), [Göteborg Stads Leasing](#)³, [Lindholmen Science Park](#), [Strålsäkerhetsmyndigheten](#) och [RISE Viktoria](#). Samtliga parter har väsentligen bidragit till projektets lyckade slutresultat.

Projektet vill också tacka [SP](#), [Transportstyrelsen](#), [Mobility Motors](#) och [Evatran Group](#) för värdefulla insatser i projektet.

Projektet tog i ett tidigt skede fram en projektlogotyp som syns i övre högre hörnet av denna rapport.

² Trots flera leverantörers utlovade leverans av induktionsladdningsutrustning innan projektet söktes, så var ingen beredd att leverera utrustningen när projektet väl beviljats. Detta föranledde ett stillestånd på ett år i projektet då projektet huvudsakligen följde utvecklingen på marknaden och bearbetade potentiella leverantörer. Slutligen övertygades Evatran att leverera sin Pluglessutrustning till projektet.

³ Bolaget hette tidigare Gatubolaget i Göteborg AB.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	4
Inledning/Bakgrund	5
Genomförande	7
AP1 Användarstudie	7
AP2 Teknisk studie	7
AP3 Anskaffande och installation av utrustning	8
AP4 Behov av ICT-stöd för användarna	8
AP5 Omvärldsbevakning	8
AP6 och AP9 Standardiseringsarbete	8
AP7 Extern kommunikation	8
AP8 Resultatspridning	9
Projektledning och koordination	9
Projektets parter	9
Omvärldsanalys	10
Aktörer	11
Standardisering	12
Resultat	14
Användarstudie	14
CE-mätningar	20
Lågspänningsdirektivet	21
Direktivet om elektromagnetisk kompatibilitet	22
Delmängd av mätresultat, elektromagnetisk kompatibilitet	23
Direktivet om begränsning av användning av vissa farliga ämnen i elektronik och elektronisk utrustnings (RoHS)	24
Sammanfattning CE-mätningar	25
Verkningsgradsmätningar	25
Elnätspåverkan	26
Magnetfält i och runt bilen	27
Praktiska erfarenheter	28
Slutsatser och diskussion	30
Publikationslista	35
Exempel på nyheter där WiCh har omnämnts	36
Referenser, källor	38
Bilagor	39

Sammanfattning

Trådlös, induktiv, laddning skulle kunna ge elbilar ytterligare en, och kanske avgörande, fördel gentemot fossilbränslefordon genom att användarna i princip aldrig behöver åka någonstans för att "tanka". Istället laddas bilarna enkelt och bekvämt trådlöst utan sladd när de står parkerade.

Teknologin i sig är inte komplicerad men tillämpningen för fordon i verkligheten är fortfarande i sin linda. Det finns därför behov av att förstå såväl de praktiska som tekniska svårigheterna hur verkliga användare utnyttjar och upplever den nya tekniken. Av denna anledning initierades WiCh-projektet 2012 efter en förstudie som förutsättningslöst studerade lämpliga lösningar för bekväm laddning.

Projektet har, i världens fortfarande största enskilda fältstudie av induktionsladdning, utrustat 20 personbilar i kommunal och enskild verksamhet och följt upp användningen under ett och ett halvt års tid. Resultaten av studien visar att trådlös laddning kan vara attraktiv jämfört med laddning med sladd, och att ladd-beteendet sannolikt kommer att förändras med trådlös laddning.

Utrustningen levererades av den enda leverantör som finns på den öppna marknaden, amerikanska Evatran Group. För att få tillstånd till en fältstudie i Sverige genomfördes ett antal tekniska prov vilka också gav viktig kunskap till testorganisationer och tillståndsgivande myndigheter.

Summary

Wireless, inductive, charging could give electric cars yet another, and perhaps final, advantage compared with fossil driven cars: that you in principle never have to drive somewhere to re-fuel. Instead the cars are being charged whenever parked.

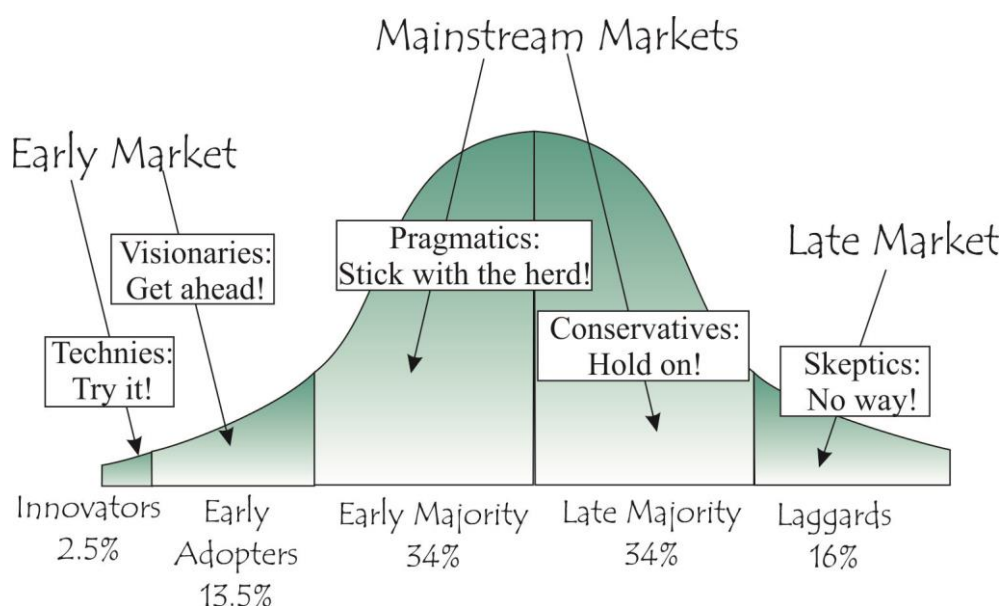
The technology itself is not complicated but the application for vehicles in real use is still in an early phase. Therefore, there is a need to understand both the practical and technical difficulties how real drivers use and perceive the new technology. Therefore, the WiCh-project was initiated after the completion of a previous feasibility study that unconditionally studied appropriate solutions for convenient charging.

The project has, in what today still is the world's largest single field trial of induction charging, equipped 20 passenger cars in municipality and private use and then studied the usage during a period of one and a half years. The results show that wireless charging can be attractive compared to cable charging and that the charging behaviour most likely will change with wireless charging. The charging equipment was acquired from the only supplier available on the open market, Evatran Group from the U.S.A. To get approval for a field trial in Sweden several technical tests were undertaken, which also built important knowledge for testing organisations and authorities.

Inledning/Bakgrund

Riksdagens målsättning att uppnå en **fossiloberoende fordonsflotta till år 2030** och en **fossilfri transportsektor till 2050** innebär satsningar på elektrifiering av fordonsflottan inom alla fordonssegment i Sverige. En elektrifierad massmarknad av fordon ger många positiva fördelar i form av minskade utsläpp av växthusgaser, minskade emissioner, minskat oljeberoende, mindre buller, möjlighet till inomhuskörning med inomhushållplatser etcetera.

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



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

Konventionella fordon som har stora tankvolymmer behöver tankas relativt sällan jämfört med elfordon (som av storlek-, vikt- och kostnadsskäl håller ner batteristorleken) som behöver ”fyllas på” betydligt oftare, vilket är ett argument mot ett köp av elfordon. Detta är mest påtagligt vid snabbladdning där tunga sladdar och otympliga kabelhandskar skall passas in i fordonets uttag vilket blir

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

extra besvärligt om sladden är smutsig och våt, men även vid normalladdning uppkommer problematiken.

Ytterligare hinder för storskalig utrullning av elfordon berör elbolagen/elldistributörerna. När antalet elbilar ökar i samhället kommer belastningen på elldistributörernas infrastrukturer att öka. Det finns en uppenbar risk att elbilsbrukare, utan incitament, kommer att koppla in bilen och ladda den enbart när det behövs och på tider när belastningen på elnätet redan är hög, till exempel vid hemkomst efter jobbet på eftermiddagen/kvällen. Effekten kan bli att elinfrastrukturen behöver byggas ut för att täcka effekttopparna, vilket i så fall kostar pengar som slutligen konsumenterna får betala.

Ett sätt att minska behovet av infrastrukturutbyggnad är att se till att elfordonen är inkopplade så ofta de bara kan. Därmed möjliggörs det för elbolagen att styra när laddning, ur en elnätssynvinkel, lämpligen bör ske. Den effekt som behövs för laddning kan därmed spridas ut över dygnet och en jämnare effektbelastning på nätet erhålls därmed, vilket håller ner kostnaderna och undviker en eventuell utbyggnad.

Under våren 2011 satsade Vattenfall och RISE Viktoria (tidigare Viktoriainstitutet) vardera 500 000 kr på ett gemensamt projekt med avsikt att undersöka hur laddning av elbilar skulle kunna automatiseras. Som grund för det projektet fanns ett antagande om att automatisk inkoppling av elbilen till elnätet skulle öka inkopplingsfrekvensen. Dessutom skulle själva "tankandet" av elfordonen förenklas vilket skulle vara ett argument för elfordon. Med detta som utgångspunkt undersöktes ett antal olika automatiserade lösningar bl.a. ur ett användarperspektiv. Olika konduktiva lösningar studerades, allt från robotarmar som positionerar laddkontakten rätt till att användaren själv skall köra in bilen i en laddanordning. Dessa lösningar föll dock bort på grund av höga kostnader, skaderisk, höga underhållskostnader, att de utgör hinder vid snöröjning/sopning av vägar etcetera. Även induktiva lösningar studerades med lite olika sätt att positionera bilen/induktionsspolarna gentemot varandra. Den lösning som tidigt bedömdes som mest intressant är trådlös energiöverföring genom så kallad induktiv resonanskrets.

Det fanns en stark önskan hos Vattenfall och RISE Viktoria att demonstrera den framtagna induktiva laddlösningen för att fånga upp handhavande- och användarbeteenden kring den automatiserade lösningen. I ett steg mot demonstration (projektet som beskrivs i denna rapport) beviljade Energimyndigheten genom sitt program "Demonstrationsprogram för elfordon" finansiering med 136 000 kr, där även Vattenfall sköt till ytterligare 34 000 kr i kontanter och ytterligare 160 000 kr i form av egen tid, till ett förstudieprojekt med totalbudget på 340 000 kr. Syftet med förstudien var att ta fram underlag och detaljerad beskrivning inför detta projekt där själva demonstrationen av automatiserad induktiv laddning genomfördes.

Detta projekt är genomfört som ett forskningsprojekt som syftar till att ge svar på viktiga frågeställningar kring induktionsladdning, både avseende användarbeteenden, teknik, kostnader, samhällsnytta etcetera. Projektet har

studerat sladdfri laddning med hypoteserna att det dels skall underlätta för användaren och dels leda till mer frekvent inkoppling mot elnätet. Dessutom har projektet tagit reda på hur säkerheten med tekniken upplevs. Resultaten i projekten indikerar att hypoteserna verkar stämma, vilket ger elfordon en konkurrensfördel gentemot vanliga fordon och dessutom leder till besparingar då billaddningen smetas ut under dygnets timmar. Därmed undanröjs potentiella barriärer för laddbara fordon och ger dem en konkurrensfördel gentemot vanliga fordon, vilket sannolikt ökar massadoptionen.

Projektet är unikt i avseendet att inga liknande projekt tidigare har genomförts och är fortfarande den största enskilda fältstudien av induktionsladdning som genomförts i verklig drift i världen. Idag pratas mycket om [Testbädd Sverige](#) och projektet kan ses som ett tidigt exempel på en sådan satsning som Energimyndigheten tacknämligt har möjliggjort genom sin finansiering.

För den intresserade så beskrivs induktionsladdningstekniken närmare i Bilaga 2.

Genomförande

Projektet har i sitt genomförande delats upp i följande 9 arbetspaket:

AP1 Användarstudie

De 20 induktionsladdade elbilarna har använts av användargrupper vid Vattenfall, Spånga/Tensta Stadsdelsförvaltning, Familjebostäder, Stockholmshem, Trafikkontoret Stockholm, Miljöförvaltningen Göteborg, Park- och Naturförvaltningen Göteborg, Göteborg Energi och Gatubolaget Göteborg. Totalt har studien omfattat fler än 60 användare.

I användarstudien har användarnas uppfattning om laddning med sladd och med induktionsladdning studerats. Fyra enkäter har skickats ut, med fokus på användarnas uppfattning före införandet av induktionsladdning och efter ca 3, 6 respektive 12 månaders användning. Enkätsvaren har kompletterats med intervjuer av användare och fordonsansvariga.

Användarstudien har genomförts av RISE Viktoria. Dessutom har data över bilarnas rörelse insamlats genom Lindholmen Science Park/Test Site Sweden för användning i kommande projekt.

AP2 Teknisk studie

I den tekniska studien har induktionsladdningsutrustningen testats enligt CE-direktiven hos SP i Borås, för att få användas i projektet. Denna del har koordinerats av RISE Viktoria.

Därefter har systemet dels utvärderats med avseende på verkningsgrad av Test Site Sweden, med avseende på elektromagnetisk strålning av Strålsäkerhetsmyndigheten och med avseende på elnätspåverkan av Vattenfall.

AP3 Anskaffande och installation av utrustning

Ett specifikt problem i projektet var att införskaffa utrustning då det handlar om ny, oetablerad teknik med ytterst begränsad tillgänglighet på den öppna marknaden.

I ett förprojekt genomförde Vattenfall i marknadsstudie vilken låg till grund för den upphandling som RISE Viktoria genomförde i projektet.

Efter anskaffning och godkännandeprocess i den tekniska studien installerades utrustningarna av leverantören Evatran Group under koordination av RISE Viktoria med stöd av Stockholm Stad, Gatubolaget Göteborg och Vattenfall samt med utnyttjande av Mobility Motors verkstad i Solna.

Viktoria tog också hand om alla de tekniska problem som uppstod under projektets gång. Efter projektet avslut avinstallerades utrustningarna och återsändes till USA, detta då de inte fullt ut kunde visas fylla kraven i ROHS-direktivet.

AP4 Behov av ICT-stöd för användarna

Ett tidigt identifierat problemområde för användarna var behovet att precisionsparkera så att primär- och sekundärspole hamnar direkt ovanför varandra.

För att utreda hur bra vanliga bilförare parkerar genomfördes därför ett examensarbete på Chalmers under ledning av RISE Viktoria, där studenterna med hjälp av en 3D-kamera eller Time-of-Flight (ToF)-kamera tog fram statistik på hur bilar parkerades på en publik parkeringsplats.

AP5 Omvärldsbevakning

Med grund i den marknadsstudie som Vattenfall genomfört i förprojektet har RISE Viktoria kontinuerligt bevakat området induktionsladdning, genom artiklar, konferensdeltagande och sökning på nätet.

AP6 och AP9 Standardiseringsarbete

Projektet har under hela projekttiden följt det internationella standardiseringsarbete som pågår inom området induktionsladdning av fordon.

Sedan 2014 har projektet också deltagit direkt i arbetet i standardiseringsgruppen [IEA HEV Task 26](#), som ett tilläggsuppdrag från Energimyndigheten, och då bland annat arrangerat ett arbetsgruppsmöte i Göteborg 2015.

AP7 Extern kommunikation

Samtliga parter har på olika sätt kommunicerat projektet externt. RISE Viktoria har till exempel satt upp och drivit projekthemsidan www.wich.se och Vattenfall har tagit fram en film som visar hur tekniken kan användas.

I samband med lanseringen hölls två media-event, ett i Stockholm som arrangerades av Stockholm Stad och ett i Göteborg som arrangerades av

Gatubolaget Göteborg. Dessa resulterade i ett flertal artiklar, varav i stort sett alla mycket positiva. Projektet visade också upp en av bilarna under Almedalsveckan 2015.

AP8 Resultatspridning

Projektets resultat har dokumenterats och spridits i ett flertal rapporter: Testrapporter från SP, Strålsäkerhetsmyndigheten, Test Site Sweden och Vattenfall, två vetenskapliga rapporter som presenterats vid EVS29 i Montréal 2016 och en vetenskaplig rapport som presenterats vid AHFE 2016 i Florida. Dessutom är examensarbetet som genomfördes i AP4 offentligt.

Projektresultaten har också delgivits alla intressenter hos parterna vid två resultatseminarier i november 2016, samt lagts upp på projekthemsidan www.wich.se.

Projektledning och koordination

RISE Viktoria har varit projektkoordinator, med Docent Stefan Pettersson som formell projektledare samt forskningsledare och först Camilla Stålstad, sedan Johan Wedlin som operativ projektledare som tillträdde efter projektets stilleståndsperiod när ingen induktionsladdningsutrustning kunde levereras.

Regelbundna projektmöten har hållits, huvudsakligen per telefon. Under det intensiva skedet hösten 2014 och våren 2015 hölls möten varje vecka, därefter månadsvis uppföljning. Dessutom har ett par workshops arrangerats.

Samtliga projektparter har aktivt och positivt bidragit till projektets genomförande och resultat.

Projektets parter

Följande organisationer har varit parter i projektet:

- [RISE Viktoria](#), som är en del av helstatliga [RISE](#) (Research Institutes of Sweden). Institutet bedriver, i samarbete med näringsliv, offentlig sektor och universitet, forskning och utveckling inom hållbar mobilitet möjliggjord av tillämpad informations- och kommunikationsteknik (ICT). RISE Viktorias utpekade fokusområden är Electromobility, Cooperative Systems, Digitalization Strategy, Sustainable Transport och Sustainable Business. Inom Electromobilityområdet, som detta projekt sorterar under, arbetar RISE Viktoria specifikt för att antalet elektrifierade fordon i samhället skall öka.
- [Vattenfall](#), som är en av Europas ledande energiföretag som huvudsakligen levererar el och värme. Idag levererar Vattenfall energi till flera miljoner kunder i Norden och norra Europa. I Sverige består Vattenfalls elproduktion av kärnkraft, vattenkraft och vindkraft och är i det närmast fri från utsläpp av miljöpåverkande ämnen. Vattenfall bedriver forskning och utveckling som en del av koncernens affärsutveckling. Inom det ramverk

som skapats av samhället driver och investerar Vattenfall i energilösningar som stöder en hållbar utveckling – ekonomiskt, miljömässigt och socialt.

- [Göteborgs Stads Leasing](#)⁵, vars affärsidé är att leverera miljöriktiga fordon och transportlösningar i Göteborg för att skapa en ren och trafiksäker stad. Fordonsuthyrningen är öppen för alla kommunala förvaltningar och bolag inom Göteborgsregionen samt statliga myndigheter. Bolagets vision är att vara med och bygga det hållbara samhället, både nu och i framtiden. I samverkan med Trafikkontoret har Göteborgs Stads Leasing börjat elektrifieringen av stadens fordon och det finns redan nu tillgängliga elfordon i sortimentet. Göteborgs Stads Leasing miljöarbete har stor del i att över 90% av alla fordon som staden använder är miljöbilar.
- Miljöförvaltningen i [Stockholm Stad](#), arbetar för att alla i Stockholm ska leva i en frisk och hälsosam miljö. Arbetsområden är mycket varierade. Det kan röra sig om så vitt skilda frågor som inomhusmiljö, trafikbuller, vattenfrågor, kemikalier, mathygien eller luftföroreningar. Miljöförvaltningen är uppdelad på ett flertal avdelningar, som arbetar med specifika frågor exempelvis miljöfordon i Stockholm.
- Test Site Sweden, en del av [Lindholmen Science Park](#), som är en nationell resurs för demonstrationer och validering av testresultat med målet att stödja utvecklingen av hållbara transporter.
- [Strålsäkerhetsmyndigheten](#), sorterar under Miljödepartementet och har ett samlat ansvar inom områdena strålskydd och kärnsäkerhet. Myndigheten arbetar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Strålsäkerhetsmyndigheten ansvarar för att, bland annat genom mätningar, uppskatta exponeringen för de elektromagnetiska fält och magnetfält som uppkommer på grund av induktionsenergiöverföringen. De ger även riktlinjer för högsta tillåtna exponeringsnivåer avseende hälsorisker för allmänheten.

Förutom dessa parter har projektet engagerat ett flertal andra organisationer för att nå projektmålsättningen men även för riktad informationsspridning.

Omvärldsanalys

Vattenfall har under många år intresserat sig för induktionsladdning och började samarbeta med RISE Viktoria 2011 kring möjligheterna som induktionsladdningstekniken för med sig; ett samarbete som sedermera ledde till detta projekt. Bägge organisationer har kontinuerligt följt vad som sker på induktionsladdningsområdet och inom ramarna för detta projekt har det speciellt funnits ett arbetspaket (AP5) för att bedriva omvärldsbevakning.

Induktionsladdningstekniken möjliggjordes genom forskning bedriven på MIT som 2006 publicerade hur energiöverföring kunde göras effektivare än innan över

⁵ Tidigare Gatubolaget i Göteborg.

ett avstånd på flera meter⁶. Detta resulterade så småningom i ett flertal nya start-uppföretag, och snart började även redan väletablerade företag intressera sig för möjligheterna.

Innan projektet startade sonderades möjligheterna att få köpa laddutrustning till ett 20-tal fordon, och de flesta befintliga 15-talet leverantörer sade då att det kan ordnas. När väl projektet beviljats och vi återkom visade det sig att de inte kunde leverera någon utrustning alls eller endast till en väldigt hög penning (som antagligen skulle bekosta delar av utvecklingen). Projektet kom därmed in i ett vänteläge där de huvudsakliga aktiviteterna blev att bevaka området och bearbeta potentiella leverantörer. Slutligen lyckades projektet övertyga amerikanska Evatran Group att leverera sitt Plugless-induktionsladdningssystem till projektet, och projektet kunde därmed fortgå.

Allmänt kan sägas att det sker och har skett en konsolidering inom induktionsladdningsleverantörsområdet och en del företag köps upp av andra. Standardiseringsarbete pågår och biltillverkare börjar tillkännage att induktionsladdning kommer finnas som tillval i framtida bilmodeller. Några namnkunniga biltillverkare har till och med som mål att 2018 kunna erbjuda induktiv laddutrustning för hemmaladdning som uppfyller en standard som skall vara färdig till dess.

I dagsläget finns endast Evatrans Pluglessutrustning för eftermontering. Denna lösning ger inget stöd för positioneringshjälp inuti fordonet utan det sker en guidning till föraren hur positioneringen av fordonen skall göras via en extern display (monterad på stolpe eller på väggen).

Aktörer

I det standardiseringsarbete som följts är aktörerna som visar intresse för induktionsladdning fordonstillverkare i samarbete med leverantörer i olika branscher stöttade av deras respektive hemmäländer. De traditionella Tier 1:orna som Bosch, Lear etcetera, syns det inte mycket av. Länder som är tongivande i utveckling av teknologin och i standardiseringsarbetet är USA, Tyskland och Japan. Leverantörerna är både nya och etablerade hos fordonsindustrin. Som exempel kan nämnas:

Witricity – En ny leverantör som samarbetar med den befintliga leverantören Lear.

Qualcomm – En etablerad leverantör som har funnit ett nytt tillämpningsområde.

⁶ Se https://en.wikipedia.org/wiki/Inductive_charging och de refererade artiklarna

- Hadley, Franklin (2007-06-07). "Goodbye wires...". MIT News. Massachusetts Institute of Technology. Retrieved 2007-08-23. MIT team experimentally demonstrates inductive power transfer, potentially useful for powering laptops, cell phones without cords.
- Castelveccchi, Davide (2006-11-15). "Wireless energy may power electronics: Dead cell phone inspired research innovation". TechTalk. Massachusetts Institute of Technology. 51 (9). Retrieved 2007-08-23.

[Bombardier](#), [Alstom](#), [Siemens](#) – En annan bransch som funnit en ny tillämpning av modifierad järn- och spårvägsteknologi.

[IPT](#), [Vahle](#), [SEW](#) – En annan bransch med mångårig erfarenhet från industriapplikationer med induktiv energiöverföring.

[Evatran](#)⁷ – Eftermarknadsleverantör som har bestämt sig för att också bli en originalmonteringsleverantör till fordonstillverkarna. Har sedan tidigare ett samarbete med Zhejiang VIE i Kina som nu fördjupas.

Witricity och Qualcomm hörs och syns mest och de fokuserar i nuläget på hemmaladdning med låg effekt och hög verkningsgrad men har högre ambitioner i en förlängning.

Toyota har undersökt betalningsviljan för hemmaladdningsutrustning hos sina kunder och funnit att den är ca 1000 USD. Deras första system, med produktionsstart i mitten av 2018, kommer dock att kosta mer och riktas därför inledningsvis in mot deras premiumköpare.

En annan bransch, representerade av företagen IPT, Vahle och SEW, inriktar sig mer direkt på primärsidan för publika platser. De har mångårig kompetens från industriapplikationer och lämnar sekundärsidan åt leverantörer till fordonstillverkarna.

Ytterligare aktörer är elbolag och andra icke nämnda branscher som ser möjligheter i teknologin.

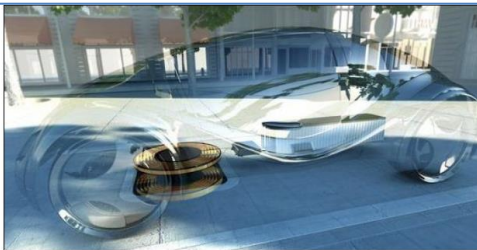
Standardisering

Det internationella standardiseringsarbetet sker inom SAE, ISO och IEC med SAE som pådrivare i harmoniseringen.

SAE International har sin hemvist i USA med medlemmar från de flesta industriländer. Många personer/organisationer har deltagit i arbetet med att ta fram en standard, se Figur 2.

Två standarder, SAE J2954 och IEC 61980 part 1, är släppta publikt som tekniska specifikationer och kommer att uppdateras under 2017–2018 innan de skall vara färdiga 2018 enligt planen.

⁷ Evatran har levererat utrustning till WiCh-projektet.

<u>Auto OEMs:</u>	<u>Bus OEMs:</u>	
•BMW •Daimler •Fiat Chrysler •Ford •GM •Honda •Jaguar •Karma •Mitsubishi •Nissan •Toyota	•BYD •Gillig •Proterra •Volvo	
<u>OEM Tier 1 & Technology Suppliers</u>		
• Delphi • Lear • LG • Magna • Panasonic • TDK • Toshiba • Conductix Wampfler • Evatran • Momentum Dynamics • Qualcomm Halo • SEW • Wave • WiTricity		

Figur 2: Deltagande företag i SAE standardiseringsarbetet.

BMW är ordförande i SAE standardiseringsgrupp och systemfrekvensen 85 kHz blir därför troligen världsstandard för lägre effekter, trots att andra har förordat 140 kHz.

Det finns en överenskommelse att klassificera effektnivåer och luftgap enligt följande.

Effektnivåer:

WPT1 3,7 kW

WPT2 7,7 kW

WPT3 11 kW

WPT4 22 kW

Luftgap:

Z1 100 – 150 mm

Z2 140 – 210 mm

Z3 170 – 250 mm

Det fortsatta arbetet kommer att inriktas på 22 kW och en ny effektklass 200 kW, med en lägre systemfrekvens och två nya placeringar av primärenheten där den yttersta innebär att primärenheten är placerad under markytan vilket ger ca 300 mm max luftgap.

Det trycks på för att standarden skall stödja automatisk laddning vid parkering. Bekvämlighet är ett nyckelord i sammanhanget.

Ett SAE-krav är att verkningsgraden skall överstiga 85% även om sekundärenheterna är av olika fabrikat och avsedda för olika effekter och luftgap och även med olika fabrikat på primärenheten d.v.s. interoperabilitet i denna betydelse.

Standardiseringsarbetet har i nuläget inte påverkats i någon större grad av de tyngre fordonen eller elenergiöverföring under färd på bl.a. motorvägar med hög trafikintensitet.

Standarden framöver kommer att behöva uppdateras eller kompletteras för att täcka fler tillämpningar.

Resultat

Användarstudie

Användarstudien ämnade utforska effekten av induktionsladdning på kör- och laddbeteende samt attityd till elbilar. En djupare redogörelse för användarstudiens upplägg och resultat ges i Bilaga 3.

Följande frågeställningar har varit i fokus i projektet:

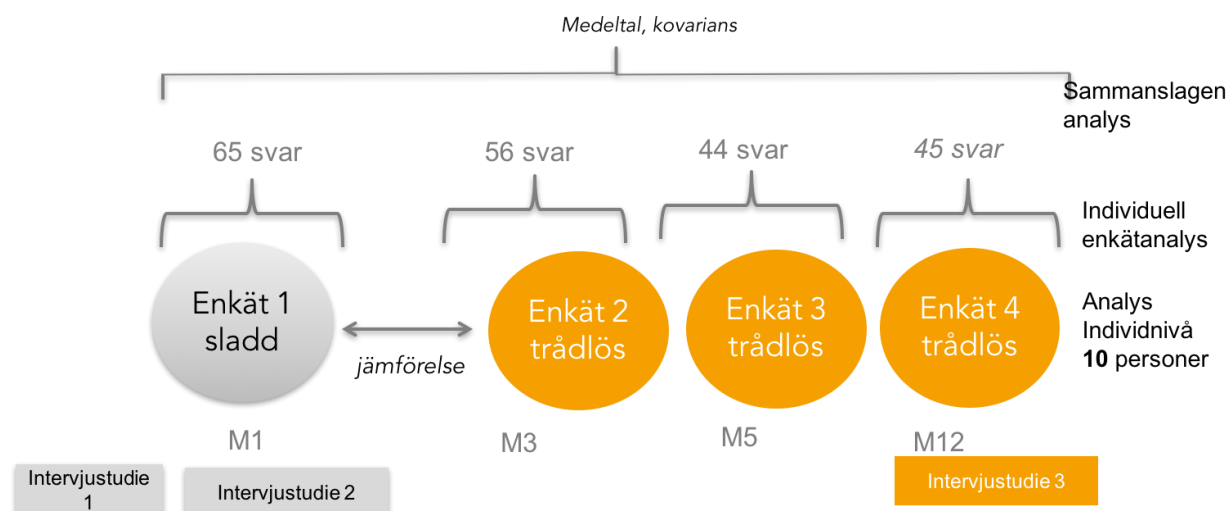
1. Blir elfordon mer attraktiva med induktionsladdning?
2. Kan elfordon som laddas med induktion ge upphov till ett förändrat laddbeteende hos förarna?
3. Är den upplevda säkerheten ett hinder för introduceringen av induktionsladdning?

I praktiken lades en [longitudinell jämförande fältstudie](#) upp där användande av elbil studerades *Före* och *Efter* introduktion av induktionsladdning (det vill säga upplevelsen av laddning med sladd har jämförts med upplevelsen av att ladda trådlöst med induktion). En metodportfölj bestående av [kvalitativa](#) (grundad teori) och [kvantitativa](#) ([deskriptiv statistik](#)) analysmetoder användes för att fånga upp förändringarna hos förarna och dess organisationer som fordonen installerades vid.

Totalt ingick 20 induktionsladdade elbilar som placerades vid följande organisationer: Vattenfall, Spånga/Tensta Stadsdelsförvaltning, Familjebostäder, Stockholmshem, Trafikkontoret Stockholm, Miljöförvaltningen Göteborg, Park- och Naturförvaltningen Göteborg, Göteborg Energi och Gatubolaget Göteborg. Totalt har studien omfattat fler än 60 användare. Testet av utrustningen skedde under ca 12 månader.

Datainsamlingen bestod av tre intervjustudier och en enkätstudie med totalt 4 enkäter, se Figur 3. Den första intervjustudien genomfördes tidigt i projektet och innefattade privatbilister som hade erfarenheter av att köra förmånsbil som sladdladdas med el. Ytterligare två intervjustudier genomfördes för att fånga de organisatoriska effekter som ett förändrat laddningsförfarande medför för ingående organisationer. Utöver detta besvarades enkäten av förare till fordonen (vid respektive organisation) för att fånga förändringarna över tid hos individuella

förare. Totalt skickades 4 enkäter ut med fokus på användarnas uppfattning före införandet av induktionsladdning och efter ca 3, 6 och 12 månaders användning.



Figur 3: Översikt uppbygg användarstudie WiCh där användarnas upplevelse av sladdladdning (grå) jämfördes med induktionsladdning (orange) under en 12 månaders period.

Enkäterna (1–4) fokuserade på den subjektiva upplevelsen kring laddning och användning av elbil hos elbilsförare vid ingående organisationer. Enkäterna inkluderade samma frågor för en direkt och enkel jämförelse för *Före* (sladd) och *Efter* (induktion). Enkäten innehöll både öppna frågor, förvalsfrågor (fasta svarsalternativ), samt graderingsfrågor (1–6). Enkätstudien består av totalt 212 svar (Enkät 1(sladd): 65; Enkät 2: 56; Enkät 3: 46; Enkät 4: 45) som analyseras med statistiska metoder. Totalt finns 10 personer som har besvarat alla frågeformulär. Analysen har gjorts utifrån tre perspektiv: skillnader mellan de individuella frågeformulär (Enkät1-Enkät4), per organisation och de förare som har besvarat alla frågeformulär (N = 10). Enkäten hade till syfte att identifiera användarkaraktäristiken (förarprofil), och tillhörande kör och laddprofil samt åsikter och upplevelser av laddning (attityd och upplevelseprofil).

Intervju 1 fokuserade på att karaktärisera laddningsaktiviteten “sladdladdning”. I studien ingick förare till företagsägda elbilar samt privatägda (tjänstebilar) laddhybrider. Totalt genomfördes 11 intervjuer som påvisar (1) vad som utlöser laddningsaktiviteten, (2) hur laddningsaktiviteten utförs, samt (3) implikationerna av genomförd laddningsaktivitet (positiva/negativa). Intervjuerna analyserades med hjälp av en process av datareduktion där citat jämförs och kontrasteras för att skapa teman och kategorier (jmf. öppen kodning i grundad teori).

Intervju 2 fokuserade på att karaktärisera problematiken och möjligheterna för användande av sladdladdning vid organisationer där fler än en person har access till respektive elfordon. Intervjuerna syftade vidare till att skapa en platsprofil för

respektive installationsplats för induktionsladdning. Fordonsansvarig vid respektive ingående organisation ingick i studien.

Intervju 3 fokuserade på att karaktärisera effekten av införande av induktionsladdning vid organisationer där fler än en person har access till respektive elfordon. Fordonsansvarig vid respektive ingående organisation ingick i studien.

Utöver detta har bilrörelserna i projektet insamlats genom Test Site Sweden/Lindholmen Science Park för användning i eventuellt kommande projekt.

Resultat Användarstudien

Med undantag för första intervjustudien karaktäriseras användargruppen av förare som är anställda vid kommunala verksamheter i Stockholm och Göteborg. Detta innebär att förarna i studien inte nödvändigtvis själva har valt att använda trådlös laddning. Förarna äger inte fordonet själva utan det utnyttjas som en del i en bilpool, som ett verktyg att utföra deras dagliga arbetsuppgifter. Majoriteten av förarna har stor erfarenhet av elbilskörning (+12 månader), och använder fordonet 1-2g/vecka, 20-30 km/gång. Förarna hade en åldersspridning på 26-76+ år med en majoritet i gruppen 36-55 år.

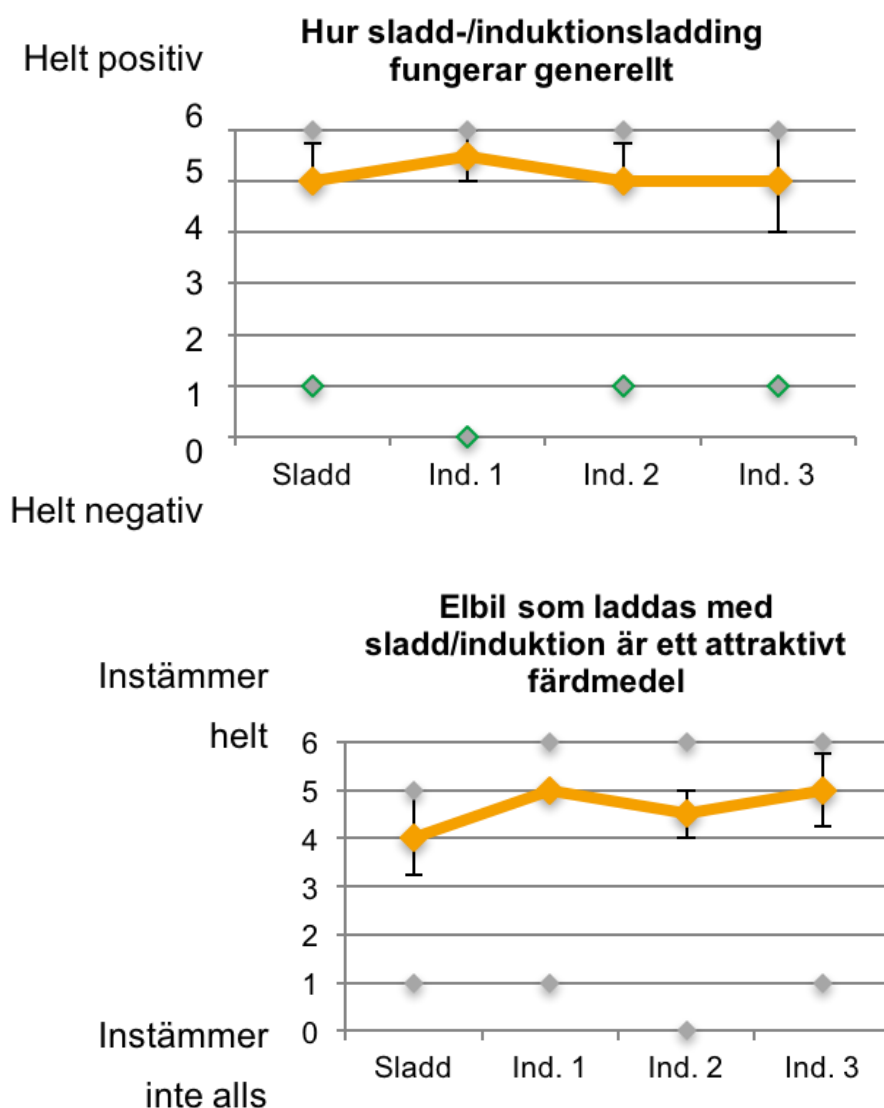
Nedan sammanfattas, med hjälp av deskriptiv statistik, resultaten från användarstudien i relation till de frågor som studien hade för avsikt att besvara: (1) Blir elfordon mer attraktiva med induktionsladdning? (2) Kan elfordon som laddas med induktion ge upphov till ett förändrat laddbeteende hos förarna? (3) Är den upplevda säkerheten ett hinder för introduktion av induktionsladdning?

(1) Blir elfordon mer attraktiva med induktionsladdning?

När det gäller förändrad *attraktionskraft* hos elfordon som laddas med induktionsladdning visar en jämförelse mellan enkäterna (1-4) att intresset för elfordon är högre för induktiv laddning vid första enkättillfället (efter initial användning), se det övre diagrammet i Figur 4. Efter den första enkäten om trådlös laddning vid ca 5 månaders användning av tekniken minskar attraktionskraften. Intervjustudien (innefattande fordonsanvariga) visar att attraktionskraften minskas eftersom förarna utsätts för tekniska problem med teknologin samt att en del förare hade problem med aktivering av laddning på grund av problem att parkera tillräckligt noggrant för att laddningen skulle starta. En jämförelse mellan Intervju 2 (sladd) och Intervju 3 (induktion) gällande karaktäriseringen av laddproceduren, se det nedre diagrammet i Figur 4, visar att "sätta i sladden" har ersatts med två andra moment "parkera med hög precision" och "kontrollera att laddningen har startat". Att ersätta ett moment med två andra typer av åtgärder kan minska den initiala attraktionskraften med trådlös laddning eftersom laddningsförfarandet är avsett att ske "automatiskt". Vidare visar enkätstudien att vid en jämförelse mellan sladd och induktion är det ingen upplevd skillnad i hur ofta bilarna har varit oladdade (till exempel glömt sladden/inte

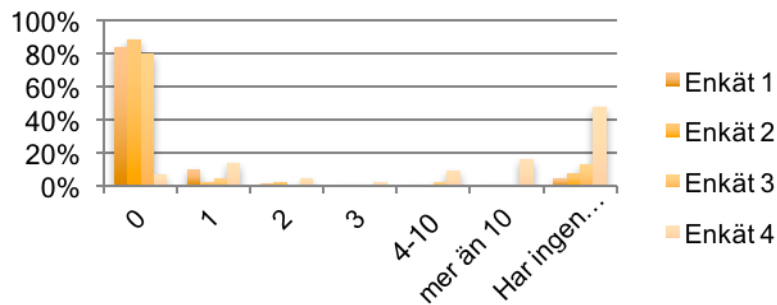
aktiverat laddningen- ej parkerat korrekt) vid användande av sladd jämfört med induktion, se Figur 5. Vid frågor kring det mest negativa med laddningsförfarandet anger ca 80% av förarna (vid enkät 4) problematik med parkering. Motsvarande för sladd är att ca 50% av förarna anger problematik kring att komma ihåg att ta ur sladden.

Studien visar således att valet och utformningen av parkeringsplatsen är en avgörande faktor för att tillgodogöra sig tekniken, vilket också påverkar dess attraktionskraft. Enkätstudien visar inga tydliga trender hos förarna av fordonen att mängden erfarenhet (det vill säga hur ofta som tekniken använts) påverkat dess upplevda attraktionskraft, se Figur 6.

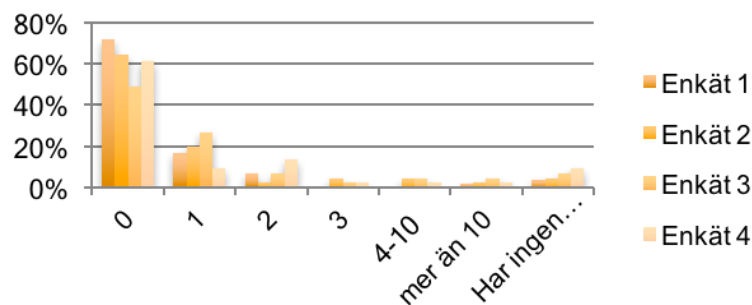


Figur 4: Översiktsdiagram. Jämförelse enkät 1–4 subjektiv upplevelse avseende 1) Hur sladd/induktionsladdning fungerat generellt. 2) Elbil som laddas med sladd/induktion är ett attraktivt färdmedel.

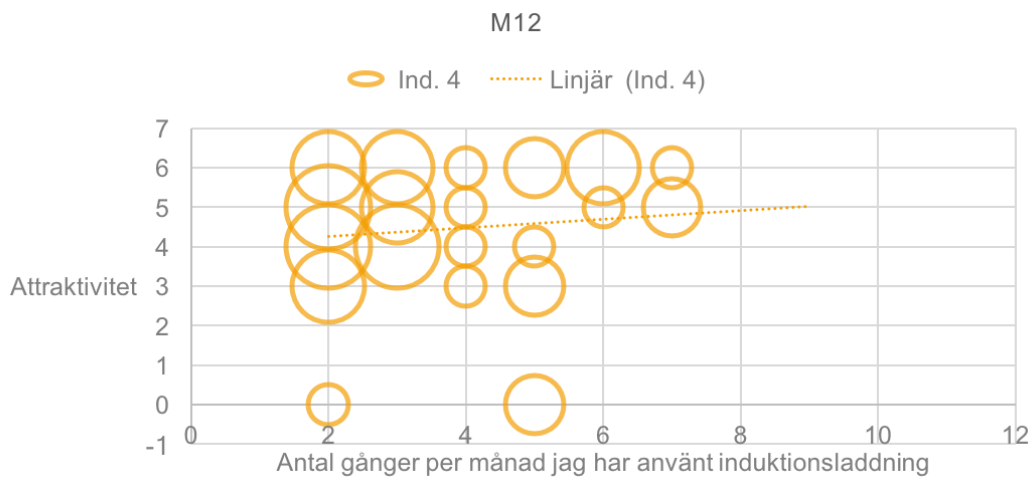
Antal gånger jag glömt att se till så att laddningen startar



Totalt antal gånger elbilen varit oladdad



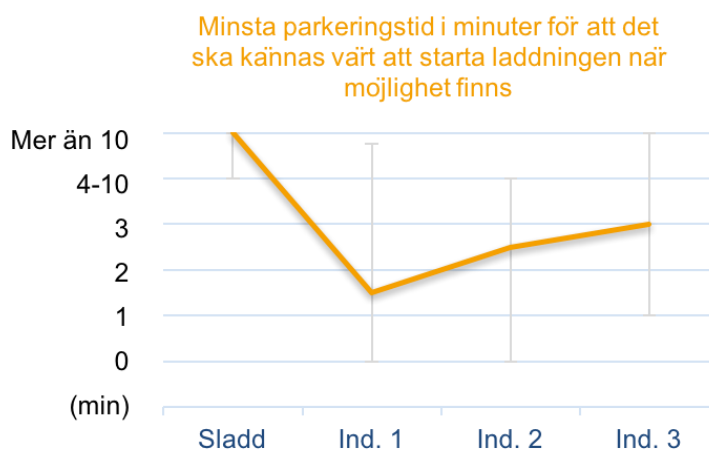
Figur 5: Andel personer som antingen 1) glömt starta laddningen eller 2) anlänt till en elbil som varit oladdad. Enkät 1 motsvarar sladd. Enkät 2–4 motsvarar induktion.



Figur 6: Diagrammet visar sambandet av den subjektiva upplevelsen gällande attraktivitet och antal gånger induktionsladdning använts.

(2) Kan elfordon som laddas med induktion ge upphov till ett förändrat laddbeteende hos förarna?

När det gäller förändrat laddningsmönster hos elfordonen som laddas induktivt visar enkätstudien att det finns en potential till förändrat beteende hos förare då enkäten påvisar att induktionsladdning har en lägre tröskel för att aktivera laddning (en majoritet anger <10 min parkeringstid) jämfört med sladd (en majoritet visar >10 min parkeringstid), se Figur 7. Användare förklarar: ”... jag behöver ju bara kliva ur ...”. Dock visar intervjustudie 2 och 3 att de rådande organisatoriska och kontextuella faktorerna för fordonen sätter begränsningar i möjligheterna till förändrat laddmönster då fordonen används enligt fastställda rutiner och scheman. Detta kan manifesteras i rutiner som till exempel att laddningen ska startas efter varje resa eller att fordonet befinner sig endast vid laddplatsen över natten (och således endast laddas nattetid); ett mönster representativt för användningen av en bilpool.



Figur 7: Översikt enkät 1–4 anger minsta parkeringstid i minuter för att det ska kännas värt att aktivera laddning när möjlighet finns.

(3) Är den upplevda säkerheten ett hinder för introducering av induktionsladdning?

Vidare syns inget påtagligt bevis för att den upplevda säkerheten kring induktionsladdningsutrustningen skulle hindra införandet av induktionsladdning. Enkätstudien visar att oron för säkerheten i laddutrustningen är likartad för sladdladdning (Enkät 1: medel 4,93) jämfört med trådlös laddning (Enkät 4: medel 4,33). Intervjuerna exemplifierar vidare att förarna har viss kunskap om tekniken genom teknikens närvaro i vår vardag (dvs spis, lampor, tandborste, etcetera). De har också en allmän tillit till godkänd och testad teknologi som påverkar deras uppfattning om säkerhet. Det fanns dock en viss oro när det gäller potentiell effekt på pacemaker hos vissa individer.

Sammantaget visar studien att attraktionskraften hos elfordon initialt ökar vid användande av induktionsladdning. Studien har även kunnat påvisa att det finns potential till ett förändrat laddningsmönster vid användande av induktionsladdning eftersom parkeringstiden som krävs för att användarna ska känna sig motiverade att starta en laddning är lägre med induktiv laddning jämfört med sladdladdning. Vidare visar studien att det inte finns en överhängande oro för säkerheten kring induktionsladdning som skulle kunna utgöra ett hinder för användande av denna typ av teknik. Dock kan de organisatoriska och kontextuella faktorerna sätta begränsningar i användande av det specifika fordonet. Detta kan hindra den potential som induktionsladdning medför i och med ett automatiserat laddningsförfarande, genom att rutiner i organisationen motverkar mer frekvent inkoppling.

CE-mätningar

Många konsumentprodukter inom EU är märkta med CE, vilket är en förkortning av "Conformité Européenne". Märkningen innebär att varan överensstämmer med EU:s lagstiftning och därmed kan säljas fritt inom det europeiska ekonomiska samarbetsområdet (EES). Typiskt skall CE-märket sättas dit av tillverkaren eller importören av varan. CE-märkning finns inom väldigt skilda områden; allt ifrån regler som gäller linbanor, pyrotekniska produkter och aktiva medicinska implantat, för att nämna några exempel.

För WiCh-projektets del var de relaterade direktiven och förordningarna lågspänningsdirektivet (2014/35/EU), direktivet om elektromagnetisk kompatibilitet (2014/30/EU), samt direktivet om begränsning av användning av vissa farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning (RoHS, 2014/2/EU).

Projektet använde sig av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut för att göra de relevanta testerna för att få en oberoende utvärdering av utrustningen. Testerna som genomfördes gjordes dels i laborationsuppställning med en elektriskt simulerad bil (för lågspänningsdirektivet, RoHS och EMC). Tester gjordes också med utrustningen installerad i de olika fordonsmodellerna projektet använde sig av för att garantera att utrustningen, ur ett EMC perspektiv, inte skulle interagera med fordonen på ett negativt, icke förutsägbart sätt.

Mätresultaten gäller endast denna specifika version av laddsystem, och i fallet med mätresultat i fordon gäller de endast den specifika kombinationen av fordon och laddsystem. Det är därför viktigt att notera att resultaten därför inte är giltiga för andra induktionsladdningssystem eller kombinationer av laddsystem och fordon.

Lågspänningsdirektivet

Utrustningen testades mot IEC/EN 61439-1 och IEC/EN 61439-2 med följande anmärkningar:

1. Pollution degree that the equipment is designed for shall be stated in the manual.
2. It shall be stated in the manual that the charging station is for both indoor and outdoor use.
3. Degree of protection shall be stated in manual or on marking sign (not reference to NEMA3R, it shall be IP-classification, at least IP44).
4. The nature of short-circuit protective device shall be stated in manual.
5. Marking sign shall have the marking "fulfills IEC 61439-2".
6. The atmospheric conditions that the charging station can be used under shall be stated in manual. (humidity and temperature)
7. Text in manual that the product shall not be installed at an altitude greater than 2000m is missing.
8. IP class IP44 according to IEC 60529 shall be fulfilled, evidence of this shall be shown.
9. Creepage distances is too short. According to ETL test report the distance is 6,4mm but requirement according to IEC/EN 61439-2 is 8,0mm. Clearances is ok.
10. The combined switch/GFCI does only fulfil UL-standard, not IEC-standard.
11. The neutral conductor inside the equipment shall be blue.
12. Connection terminal for protective earth is not marked with symbol for protective earth.
13. Relay K1 has the maximum operating temperature of 65°C but measured at 92,2°C when running the charger in normal operation.

Enligt SP var överträdelserna mot lågspänningsdirektivet av sådan sort att de endast krävde en riskanalys samt extra information vid installation. Exempel på detta var avvikande färg på elinstallationskablarna, hur utrustningen skulle installeras för väderskydd eller höjd över havet. Ett annat exempel var att ett relä skulle ha överhettats om utrustningen användes i det temperaturområde som produkten godkänts för i USA. I Sverige gjorde SP bedömningen att yttertemperaturen inte kommer vara lika hög som i USA och att risken för termiska problem därför är små. Ett annat test som utrustningen inte klarade var att ett 'test-finger' till viss del kunde ta sig in i lådan och därmed komma i kontakt med spänningsförande delar. Eftersom utrustningen endast monterats på arbetsplatser samt skyddats med dubbla jordfelsbrytare, varav ett av dem godkänts enligt europeisk standard, bedömdes risken som låg.

Direktivet om elektromagnetisk kompatibilitet

De fullständiga resultaten från mätningarna hos SP finns dokumenterade i en offentlig rapport från SP med referensnummer 4P08476D. En lista över de ingående testen tillsammans med resultaten kan ses i Tabell 1.

Tabell 1: Resultat CE certifiering

Standard	Uppfyllande	Kommentar
Emission: EN 61000-6-3:2007/A1:2011	Nej	
Radiated emission	Nej	Kommentar 1
Conducted emission	Nej	Kommentar 2
EN 61000-3-2 Harmonics	Nej	Kommentar 3
EN 61000-3-3 Voltage fluctuations and flicker	Ja	
Immunity: EN 61000-6-1:2007	Ja	
EN 61000-4-2 Electrostatic discharge	Ja	
EN 61000-4-3 RF electromagnetic field	Ja	
EN 61000-4-4 Fast transients	Ja	
EN 61000-4-5 Surges	Ja	
EN 61000-4-6 RF conducted disturbances	Ja	
EN 61000-4-8 Power frequency magnetic field	Ej tillämpbar	Kommentar 4
EN 61000-4-11/ 34 Voltage dips and interruptions	Ja	

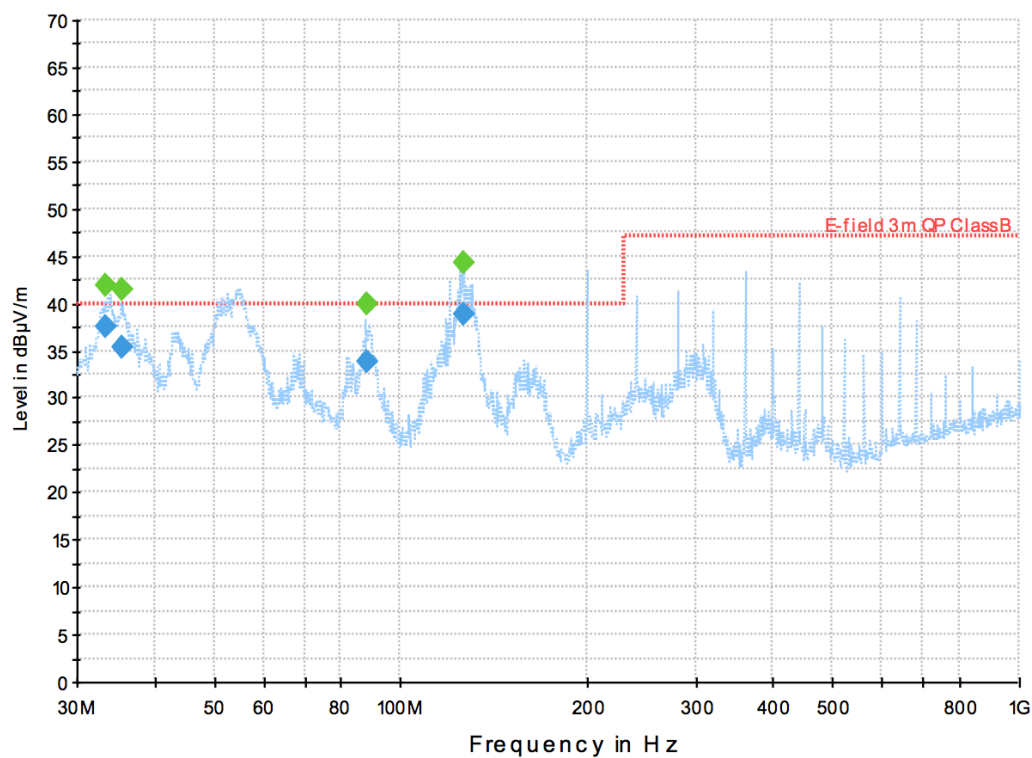
Kommentar 1: Strålade emissioner var över gränsvärdet vid flera frekvenser, se Figur 8 och Figur 9. Emissionstoppen vid 2475MHz i Figur 9 kan härledas till radiokommunikationen mellan laddstationen och tillhörande bilenhet.

Kommentar 2: Ledningsburna störningar är över gränsvärdet vid 1.04MHz. Störningarna vid 12MHz, med övertoner vid 24Mhz är ej relaterade till mätobjektet utan kommer från mätutrustningen, se Figur 10.

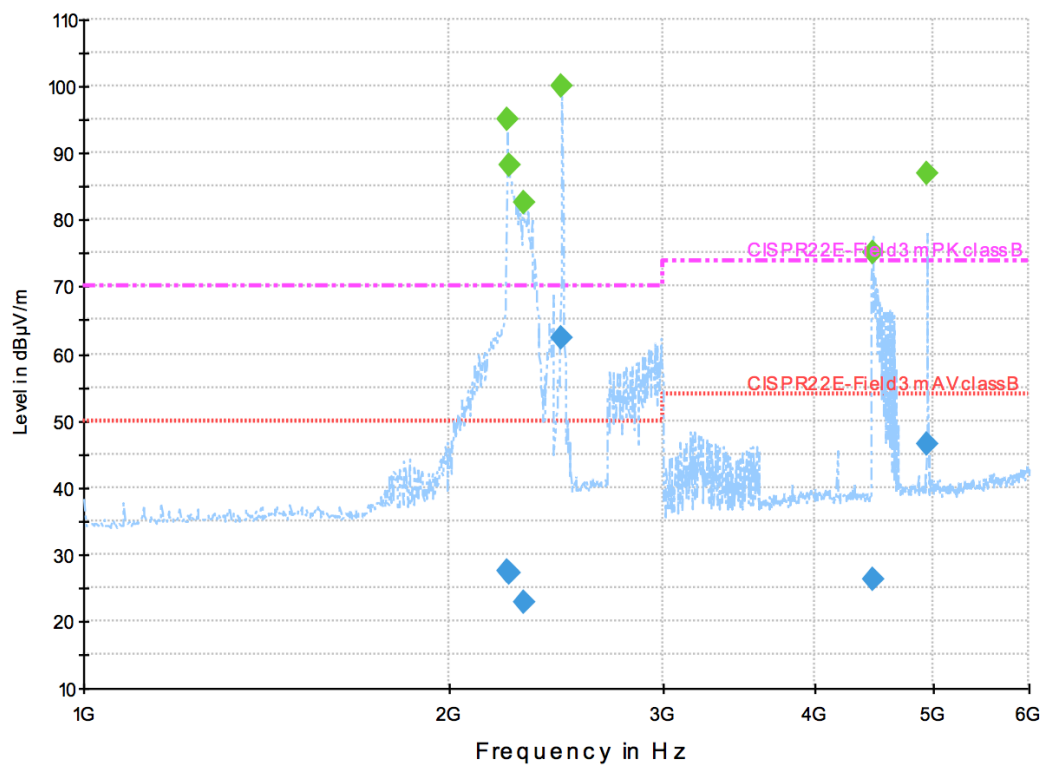
Kommentar 3: Övertoner i elförsörjningen som kommer från testobjektet är signifikant över rådande gränsvärden, se Figur 11. Inkoppling på det publika lågspänningsnätet kommer kräva tillstånd från nätoperatör innan installation.

Kommentar 4: Enligt klienten innehåller inte det testade objektet några komponenter som är känsliga för magnetfält i området för elnätet.

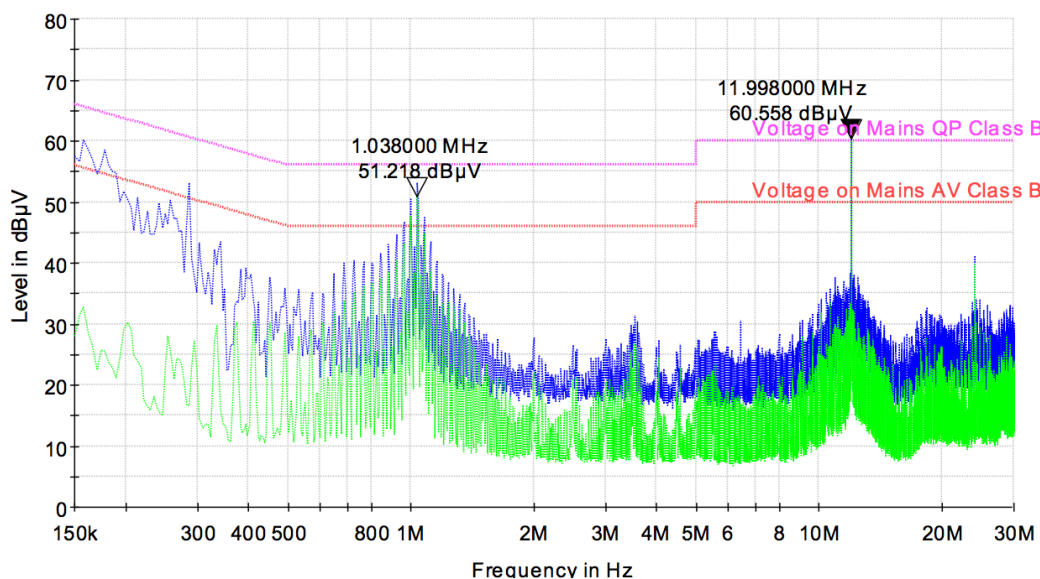
Delmängd av mätresultat, elektromagnetisk kompatibilitet



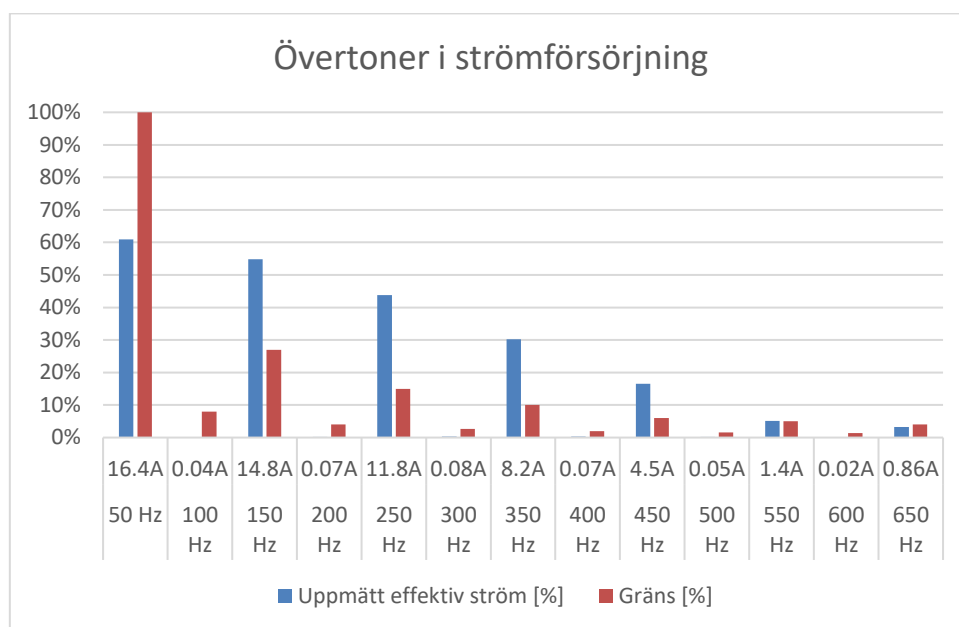
Figur 8: Strålade emissioner, 30MHz-1GZz.



Figur 9: Strålade emissioner, 1Gz-6GHz.



Figur 10: Ledningsbundna störningar på fas, 150kHz-30MHz.



Figur 11: Övertoner (genomsnittliga), strömförsörjning.

Direktivet om begränsning av användning av vissa farliga ämnen i elektronik och elektronisk utrustnings (RoHS)

På grund av bristande underlag kunde inte uppfyllandet av RoHS garanteras, även om inte heller motsatsen kunnat fastställas.

Sammanfattning CE-mätningar

Mätresultaten visar att utrustningen inte uppfyller lågspänningsdirektivet eller EMC-direktivet, och därför inte kan CE-märkas. Inte heller RoHS kan garanteras även om inte heller motsatsen kunnat fastställas. När inte direktiven uppfylls innebär det att utrustningen inte får monteras utan att ytterligare skydd och hänsyn till installationerna tas. För att projektet skulle kunna installera utrustningen hos projektdeltagarna behövdes därför ytterligare skydd och information vid installation och användning.

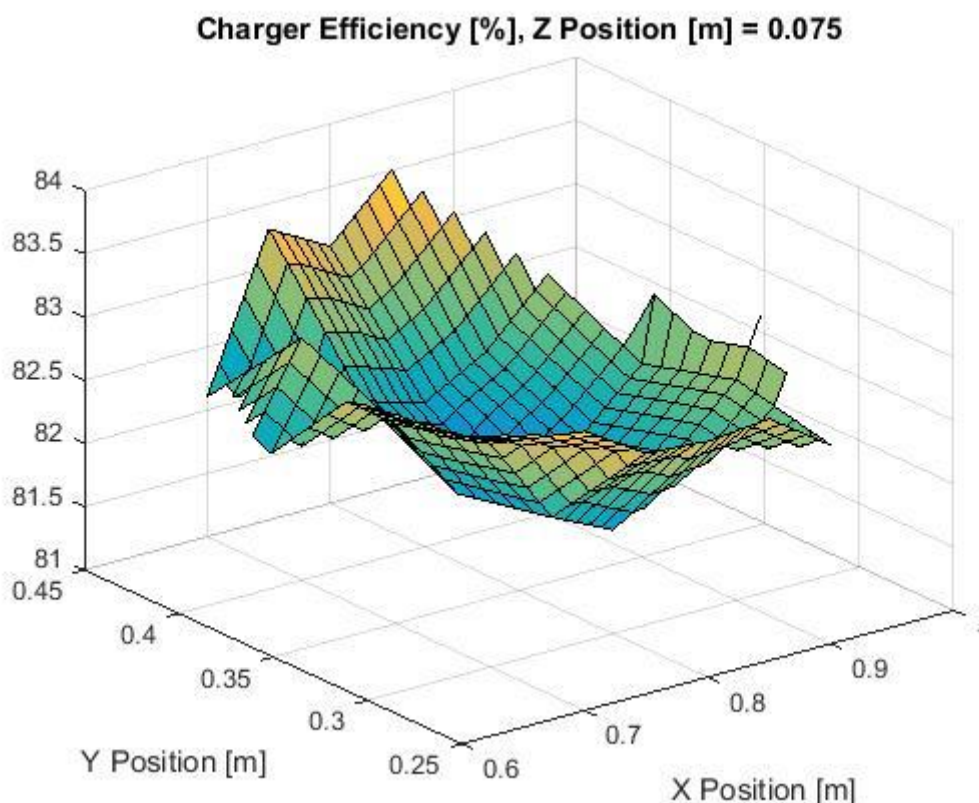
De extra åtgärder projektet vidtagit är följande:

- Användning av ett externt filter för ledningsbundna radiostörningar tillsammans med skärmade elkablar;
- De strålade emissionerna uppmättes till något över gränsvärdet vilket krävde ett undantagsbeslut från PTS;
- Övertoner i elanslutningen krävde godkännande från elnätoperatörerna för att utrustningen skulle vara okej att installera;
- Mindre överträdelser mot lågspänningsdirektivet krävde extra information vid installationsförfarandet. Exempel på detta var avvikande färg på elinstallationskablarna. Ett annat exempel var att ett relä skulle ha överhettats om utrustningen användes i det temperaturområde som produkten godkänts för i USA. I Sverige gjorde SP bedömningen att yttemperaturen inte kommer vara lika hög som i USA och att risken för termiska problem därför är små. Ett annat test som utrustningen inte klarade var att ett 'test-finger' till viss del kunde ta sig in i lådan och därmed komma i kontakt med spänningsförande delar. Eftersom utrustningen endast monterats på arbetsplatser samt skyddats med dubbla jordfelsbrytare bedömdes risken som liten av SP.
- Överträdelserna sammantaget har krävt individuella dispenser på fordonen från Transportstyrelsens föreskrifter TSFS 2010-2, samt registreringsbesiktning.
- Eftersom utrustningen inte uppfyller RoHS direktivet återexporterades utrustningen till tillverkaren i USA efter testperiodens slut.

Verkningsgradsmätningar

För att få så små energiförluster som möjligt vid energiöverföringen så eftersträvas en hög verkningsgrad. I projektet har Test Site Sweden på Lindholmen Science Park mätt verkningsgrad på de induktiva systemen som användes. Syftet med mätningarna var att undersöka hur bra den trådlösa laddningen överför energi till bilen och hur detta varierar med avståndet mellan bil och laddplatta.

Resultaten pekar på att laddningen sker inom ett område om cirka 20 gånger 25 centimeter, se Figur 12. Verkningsgraden ökar med en ökande lateral avvikelse från centrum upp till en gräns, varefter den drastiskt minskar tills laddutrustningen inte längre klarar av att överföra energi. Detta indikerar att positioneringen vid parkering är viktig för att få en hög verkningsgrad. Avståndet i höjdlid mellan laddplatta och bil påverkar också verkningsgraden, ett längre avstånd ger något högre verkningsgrad.



Figur 12: Verkningsgrad hos Evatran/Plugless induktionsladdningsutrustning beroende på varierande position.

Det är viktigt att poängtera att mätresultaten endast gäller denna specifika version av laddsystem i kombinationen med fordonet det testades i.

Elnätspåverkan

För att elektrisk utrustning skall få kopplas in på elnätet utan extra tillstånd måste krav på det som lite slarvigt brukar kallas elkvalitet bland annat uppfyllas. Direktivet som är relevant i projektets fall är framför allt EN 61000-3-12:2011, vilket är en delmängd av de krav som ställs för elektromagnetisk kompatibilitet inom EU. Det längre namnet på direktivet är: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase.

Det här direktivet ställer kvar på frekvensinnehållet i den använda strömmen för en produkt. Elnätet i Europa har en frekvens på 50Hz. Produkter av tekniskt enklare modell brukar sällan ha problem med just frekvensinnehållet. Brödrostar, spisar (dock ej induktiva spishällar), kylskåp, lampor och likande produkter utan betydande kraftelektronik har nästan endast 50Hz i den förbrukade strömmen. Nyare nätaggregat i elektronik är ofta vad som kallas switchade. Det innebär att istället för att använda sig av strömmens egna inneboende 50Hz komponent så görs den om den till en ny spänning och ström med en betydligt högre frekvens, typiskt i området 10 till 100kHz. Anledningen till det här är att det då går att använda sig av mindre, lättare och därmed ofta billigare komponenter. Det är av den här anledningen de, ofta felaktigt men populärt kallade, 'transformatorer' som sätts i vägguttaget blivit mycket lättare de senaste tio åren. Om man vill gå lite djupare tekniskt brukar det här göras genom att ingående anslutning likriktas, därefter växelriktas med högre frekvens, transformeras, och därefter igen likriktas eller växelriktas till den frekvens som önskas.

Om inte hänsyn tas till det här under designen av sin komponent ger den här processen upphov till andra frekvenskomponenter utöver 50Hz i den ingående strömmen. Dessa högre frekvenser transporteras via elnätet och kan värma upp ledningar och komponenter i andra anslutna nätaggregat som därmed åldras snabbare än de varit designade för. WiCh-projektet har därför mätt upp dessa strömmar för den induktiva laddenhet som används i projektet. För att dessa mätningar skall vara så oberoende som möjligt har de genomförts av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Dessa mätningar visade att frekvenskomponenterna låg utanför de tillåtna värdena på de udda harmoniska övertonerna ända upp till den 11:e övertonen (550Hz).

Enheter som inte uppfyller kraven får dock anslutas om elnätsägaren gör en konsekvensanalys av den inkopplade utrustningen och därefter ger sitt explicita tillstånd för inkopplingen. För projektets del innebar det att parternas nätägare kontaktades, och gjorde en analys vilket ledde till ett godkännande från dem att koppla in utrustningen.

Vattenfall har under projektet även uppmätt elnätspåverkan i verklig miljö och då fått resultat som överensstämmer i stort med laboratoriemätningarna.

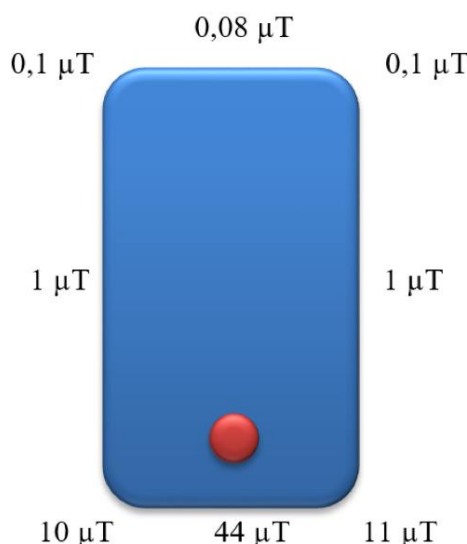
Magnetfält i och runt bilen

Många oroar sig för magnetiska fält. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har mätt de magnetiska fälten i och runt de trådlöst laddade bilarna i WiCh-projektet.

Laddningssystemen alstrar magnetfält med frekvensen 19,5 kHz. Mätningarna visar att magnetfälten under laddning kan uppgå till 44 μT alldeles intill bilens bakre del, se Figur 13. Under bilen är magnetfältet högre. Inne i bilen har magnetfält upp till 0,3 μT mätts upp under laddning. SSM:s referensvärde för allmänheten vid frekvensen 19,5 kHz ligger på 6,25 μT (SSMFS 2008:18). För arbetsmiljö gäller Arbetsmiljöverkets insatsnivå på 100 μT (AFS 2016:3).

Magnetfältet är lågt inne i bilen under laddning och utgör därför inte något strålskyddsproblem. Magnetfälten vid laddning kan vara relativt höga intill bilens

bakände och ännu högre under bilen vid själva laddenheten, men avtar snabbt med avståndet. Förutom precis intill laddutrustningen är dock magnetfälten lägre än vad som tillåts enligt Arbetsmiljöverkets riktlinjer, vilket innebär att utrustningen ändå kunde användas för utvärdering i projektet.



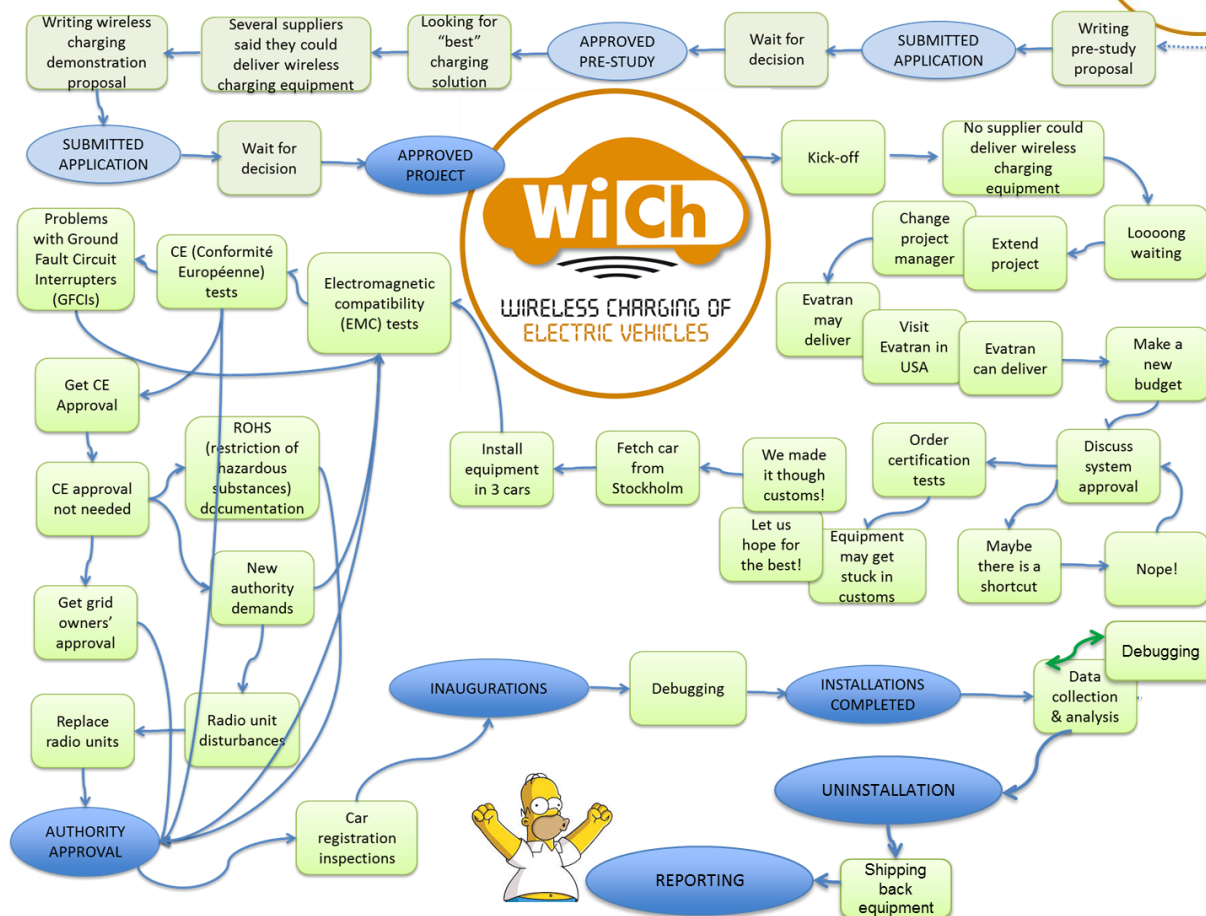
Figur 13: Magnetfält runt bilen, sett ovanifrån med fronten uppåt. Primärspolens placering visas i rött.

Det är viktigt att poängtera att mätresultaten endast gäller denna specifika kombination av bil och laddsystem och inte är generellt giltiga för andra induktionsladdningssystem.

Det finns andra projekt som tittar på lösningar för att minska strålningen från trådlös laddning, till exempel [SAWE \(Säker induktiv energiöverföring för elfordon\)](#) som drivs av RISE Viktoria i samverkan med [Chalmers Tekniska Högskola](#), [QRTECH](#), Vattenfall och Beinzero. Projektet är finansierat av Energimyndigheten och har projektnummer [P38577-1](#).

Praktiska erfarenheter

Att genomföra ett projekt där ny teknik testas med verkliga användare på allmänna vägar och platser innebär många utmaningar. Figur 14 ger en lättsam sammanställning av dessa samt genomgående steg som deltagarna i WiCh-projektet ställdes inför under resan från förstudie till genomfört och rapporterat projekt.



Figur 14: Lättsam beskrivning av utmaningar och genomgående steg för WiCh-projektet.

Huvudsakligen var det två utmaningar som projektet stötte på. Den första var att hitta och få tillstånd att importera och testa ny och ej CE-märkt utrustning till Sverige. Inte ens myndigheterna själva var säkra på hur detta skulle göras och många hänvisade vidare till andra instanser.

Dels så uppstod också ett antal praktiska problem med den nya teknologin, vilket i sig påverkade användarupplevelsen. Vissa av dessa problem är sådana som kanske kan förväntas i första generationens utrustning och som kommer att lösas till kommande generationer. Andra problem berodde på just den specifika konceptlösningen som var utformad för amerikanska privat användare för hemmabruk, med andra förväntningar och användningsfall än för användning i tjänstesyfte i Sverige.

Slutsatser och diskussion

WiCH-projektet har resulterat i följande slutsatser, insikter samt nya möjligheter:

- *Inget tyder på att det finnas några tekniska hinder kring induktionsladdningstekniken som sådan.* RISE Viktoria har erfarenheter från ett flertal projekt som avser testa ny teknik av verkliga användare, i syfte att öka kunskaperna kring tekniken och dess möjligheter. Dessa projekt upplever näst intill utan undantag strul med tekniken just för att det är ny teknik som testas under verkliga förhållanden. Evatran var tveksamma till att leverera sin induktionsladdningsutrustning till Sverige eftersom den var testad och godkänd för den amerikanska privatansvändarmarknaden men inte den europeiska. Flertalet av barnsjukdomarna projektet upplever kommer rimligen att försvinna i kommande generationer och i framtiden förväntas strulfria lösningar för induktionsladdning.
- *Det verkar inte finnas några juridiska hinder kring induktionsladdningstekniken utan kraven på tekniken ryms inom dagens lagar.* Projektet har genomfört nödvändiga tester för att få de tillstånd som krävs för att testa tekniken. I slutändan är det [Transportstyrelsen](#) som i Sverige godkänner om fordon får köras i trafiken, men de involverar andra myndigheter, till exempel [Post- och telestyrelsen](#) och [Elsäkerhetsverket](#) eftersom utrustningen både strålar och är inkopplad mot fasta elnätet. Det blev en viss rundgång mellan involverade myndigheter som inväntade svar från varandra, men ett besök hos Post- och telestyrelsen i Stockholm där vi förklarade tekniken och syftet med studien löste upp den knuten. På det hela taget har projektet bidragit till att öka kunskapen inom induktionsladdning även hos berörda myndigheter. Kunskapshöjningen gäller även SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut som oberoende har utfört mätningar för godkännandet.
- *Verkningsgraden hos induktionsladdning är hög och kommer bli högre.* Våra egna mätningar indikerar en verkningsgrad på dryga 80% (upp till 83%), vilket även oberoende mätningar av [ORNL](#) (Oak Ridge National Laboratory) kommit fram till. Leverantörer pratar om att verkningsgraden bör komma upp till över 90% och kanske till och med 95% och skulle det bli så är sladdladdning och induktionsladdning ur verkningsgradssynvinkel likvärdiga. Dock skall vi inte glömma att en verkningsgrad på 80% är bra mycket högre än verkningsgraden i en fossildriven förbränningsmotor, som ligger på 30-40% på sin höjd. Skulle induktionsladdning vara tekniken som gör att folk i högre grad köper laddbara fordon oavsett verkningsgrad så är det en mycket energieffektivare fordonslösning. Dessutom är det också en bättre lösning sett ur utsläppssynvinkel, både avseende lokala emissioner (som är noll i eldrift) och koldioxidutsläpp.
- *Svenska tillståndsmyndigheter kan agera snabbt.* Evatran har sagt att testerna och myndighetsgodkännandet i USA tog ungefär ett år medans det i Sverige endast tog ett halvår för att genomföra testerna och få

Transportstyrelsens godkännande. Även om det är tveksamt att dra slutsatser baserat på ett enstaka sampel kan vi i alla fall säga att i det specifika ärendet har svenska myndigheter agerat relativt skyndsamt.

- *Projektet bra exempel på Testbädd Sverige.* Numera ligger det i tiden att prata om Sverige som en testbädd för ny teknik. Vi har sedan starten själva betraktat projektet som ett s.k. [Living Lab](#) där ny teknik studeras i verkligheten bland riktiga användare.
- *Parkeringsförfarandet hos induktionsladdning behöver stödjas.* Ett av huvudmotiven med induktionsladdning är att göra det bekvämare för användaren genom att slippa hantera en laddsladd utan laddningen sköts i stället automatiskt. Studien av den induktionsladdningsutrustning vi haft tillgång till indikerar dock att "sätta i sladden" har ersatts med två andra moment "parkera med hög precision" och "kontrollera att laddningen har startat". Att ersätta ett moment med två andra typer av åtgärder kan minska den initiala attraktionskraften med trådlös laddning och uppfyller därmed inte användarnas förväntan. Vi har tagit upp denna problematik med Evatran, men de säger att de inte kan se motsvarande parkeringsbekymmer bland sina användare. Det är naturligt att vara skeptisk mot denna typ av svar från leverantörer; de vill naturligtvis promota sin egen produkt och inte framhålla eventuellt negativa sidor i sin lösning. Det kan även vara så att de är sanningsenliga och inte hört något från sina kunder. Eftersom Evatran sålt sin utrustning till privatpersoner som frivilligt vill testa den nya laddtekniken så tillhör de kundgruppen innovatörer, se Figur 1. Vi har testat laddtekniken i offentliga organisationer där människor själva inte valt att vara testobjekt, undantaget en privatperson. I detta avseende är det rimligt att tro att vår testgrupp spänner över alla typer av människor och kundgrupper i Figur 1. Därmed är acceptansen för fel och brister mindre bland våra testpersoner än i Evatrans kundgrupp, vilket kan förklara skillnaderna i uppfattning. Dessutom kan induktionsladdningsutrustningen vara placerad på olika sätt bland kunderna i USA och i vår studie. Möjligheterna att parkera över laddutrustningen ökar om det finns gott om utrymme vid sidan av parkeringsplatsen och bilen körs in rakt framifrån; det har inte alltid varit fallet bland våra användare. Oavsett orsak är det viktigt att framtidens induktionsladdningsutrustning stödjer enklare parkeringsmöjligheter, eftersom det i den stora massan av användare kommer finnas olika förutsättningar att parkera med precision. Löses inte detta riskerar tekniken att inte bli så attraktiv som den har potential att vara.
- *Framtidens induktionsladdningsutrustning integreras rimligen i fordonet av fordonstillverkarna.* Pluglessutrustningen från Evatran som projektet använde sig av är en eftermarknadsutrustning som i efterhand monteras i fordonet; en spole för energiupptagning monteras bak i fordonet som inkopplas till den existerande laddsladden under motorhuven. Denna lösning ger i dagsläget inget stöd för positioneringshjälp inuti fordonet utan det sker en visuell guidning till föraren hur positioneringen av

fordonen skall göras via en extern display monterad på stolpe eller på väggen. Nackdelen med denna lösning är bl.a. positioneringsproblematiken som beskrivits i föregående punkt och dels behovet av en extern display utanför fordonet, som kan vara svår att placera alternativt är i vägen för annat, vandaliseras etcetera. Om induktionsladdningsutrustningen monteras in av fordonstillverkarna ger det flera fördelar, till exempel kan utrustningen placeras på lämpligaste plats under fordonet, bl.a. ur krocksynpunkt och för att hålla nere kostnaderna. Examensarbetet som utförts inom ramarna för projektet indikerar att placering bak är olämpligt eftersom bakändan av bilen har störst positioneringsvariation. Pluglessutrustningen monteras bak eftersom det i installerade modeller finns ett befintligt utrymme mellan bakhjulen. Andra fördelar med att fordonstillverkarna gör integrationen är att guidning kan ske på bästa sätt med det kunnande och tillgång till signaler och displayer i fordonet som fordonstillverkaren råder över. I dagsläget finns endast Evatrans Pluglessutrustning för eftermontering och omvärldsbevakningen indikerar inte att fler kommer erbjuda liknande eftermarknadslösningar. Tvärtom pekar spaningen tydligt på att fordonstillverkarna kommer erbjuda lösningar, där tillverkarna av induktionsladdningsutrustning på vanligt sätt kommer fungera som underleverantörer till fordonsbranschen.

- *Framtidens induktionsladdningsutrustning kommer att uppfylla erforderliga krav.* Induktionsladdningsutrustningen som användes i projektet överskred befintliga europeiska krav, men eftersom utrustningen skulle monteras på skyddade arbetsplatser och hade skydd med dubbla jordfelsbrytare bedömdes riskerna som måttliga och dispenser erhöles av Transportstyrelsen. Framtidens kommersiella utrustning kommer med nödvändighet att uppfylla befintliga krav och skall utrustning monteras i publik miljö är kraven än högre ställda för att skydda allmänheten utan specifik kunskap om hur handhavandet skall ske eller vad som skall undvikas. En kritisk del vid induktionsladdning är området mellan spolen i marken och spolen i bilen. Vid laddning finns en risk att olämpliga föremål som kommer emellan värms upp och börjar brinna och dessutom finns en överhängande risk att magnetfälten mellan laddplattorna överskrider befintliga gränsvärden. Framtidens lösningar måste därför vara beskaffade så att laddning inte sker när olämpliga föremål eller varelser är emellan laddplattorna, till exempel genom detektion och avbruten laddning.
- *Volvo Cars och RISE Viktoria samarbetar kring framtidens induktionsladdningsmöjligheter där bilarna parkerar automatiskt.* Som en direkt följd av projektet arbetar Volvo Cars och RISE Viktoria tillsammans i ett FFI-projekt med titeln *Krav Helautomatisk Induktiv Laddning*, där avsikten är att kravställa kommande integrerade induktionsladdningslösningar. Projektet finansieras av Energimyndigheten och har projektnummer [P41211-1](#). Våra gemensamma slutsatser är att

automatisk parkering, i kombination med induktionsladdning, är en viktig funktion för att åstadkomma bekvämlighet för användaren.

- *Hur ser kostnadsutvecklingen ut för utrustningen?* Induktionsladdningstekniken som sådan består av icke-rörliga delar i form av elektronikkomponenter och spolar, vilket gör att materialkostnaderna är relativt blygsamma och i storleksordningen en eller ett fåtal tusenlappar. Teknikutvecklingen pågår dock där bl.a. högre verkningsgrad eftersträvas samt möjligheten att överföra högre energier, dels för att kunna ladda snabbare men även kunna fylla tyngre fordon med energi på rimlig tid. I dagsläget får kunderna betala denna teknikutveckling och priset för Evatrans utrustning mot kund är i storleksordningen 25 000 kr. I slutändan kommer priset att sättas efter vad marknaden är beredd att betala, så inom en snar framtid kommer priset troligen att vara i storleksordningen några tiotusentals kronor och säljas som tillval till välbärgade kunder; troligen kommer erbjudanden främst att erbjudas premiumsegmentet där betalningsviljan finns. Med tiden kommer priset att gå ner och landa troligen på några tusentals kronor.
- *När kommer induktionsladdningstekniken?* Evatrans lösning går redan att köpa i USA så svaret är att tekniken redan finns. Dock går det inte köpa fordon med tekniken från fabrik, utan det är fortfarande så att Evatrans lösning är en eftermarknadslösning som monteras i efterhand på vissa utvalda bilmodeller som provats och erhållit certifieringstillstånd. Flera tillverkare indikerar att vissa av deras bilmodeller kommer med möjligheter att välja till induktionsladdning inom snar framtid, kanske inom ett år. Det finns därmed stor förhoppning att tekniken är i antågande. Standardiseringsarbetet är viktigt i perspektivet att få till publik induktionsladdningsinfrastruktur. De som följt standardiseringen inom sladdladdning vet att det tar ett tag att få till en standard, och för induktionsladdning finns fler frihetsgrader som behöver bestämmas. Det är därmed inte rimligt att se induktionsladdning i den publika miljön på ett bra tag, kanske tar det upp till fem-tio år innan laddtekniken syns offentligt i större skala?
- *Kommunikationen mellan bilen och laddinfrastrukturen sker trådlöst.* Det finns ingen anledning att kommunikationen mellan laddutrustningen och bilen sker genom tråd när laddtekniken för övrigt är trådlös, eftersom bekvämligheten i så fall försvinner. När bilarna väl kommunicerar trådlöst finns möjligheter att utnyttja mobilnätet i stället för annan kommunikationskanal, vilket kan hålla nere kostnaderna för laddinfrastrukturen. En kombination av tidigare erfarenheter i [ELVIIS-projektet](#) kan därmed med fördel utnyttjas⁸.

⁸ Se till exempel publikationen [S. Pettersson. Lightweight infrastructure for electric vehicle charging. EVS28 International Electric Vehicle Symposium and Exhibition. KINTEX, Korea, May 3-6, 2015.](#)

- *Induktionsladdning och elvägar.* Induktionsladdning har fördelen att laddningen sker trådlöst och utan beröring med fördel möjliggör en laddinfrastruktur där laddspolen (primärspolen) grävs ner i marken under fordonet. Förutom att undvika laddstolpar som är i vägen för snöröjning, sopning, etcetera så finns en möjlighet att ladda fordonen inte bara stillastående utan även när fordonen rör på sig. Det finns andra tekniker som också möjliggör detta, till exempel skenor i marken, men induktionsladdningen har fördelen att den inte behöver vara synlig, vilket kan ha en fördel ur estetisk synvinkel och även underlätta underhåll och reparationer av vägbanan. Induktionsladdning möjliggör laddning under färd, och det är inte orimligt att en laddinfrastruktur byggs ut i framtiden där laddning sker under långsam förflyttning, till exempel där köbildning är vanligt eller vid exempelvis rödljus. Det pågår även tester i Sverige kring elektrifierade vägar där energin överförs till fordonet under körning i betydande hastigheter, och induktionsladdning är en teknik som är möjligt även i detta fall; det finns redan anläggningar till exempel i [Sydkorea](#). Huruvida utvecklingen sker får framtiden utvisa, men induktionsladdning har potential i flera tillämpningsområden inom mobilitetsområdet.

Avslutningsvis kan sägas att resultaten från detta projekt påvisar att induktionsladdningstekniken är en rimlig laddteknik för framtiden. Omvärldsbevakningen stärker denna bild. Vår egen studie indikerar att användarna finner tekniken bekväm och den leder troligen till mer frekvent inkoppling mot elnätet vilket innebär jämnare belastning än vid användandet med sladd vilket rimligen innebär mindre behov av utbyggnad av elnätet och därmed ger kostnadsbesparingar. Rimligen bidrager projektet till energibesparingar och en snabbare omställning till en fossiloberoende fordonsflotta genom insikter i hur övergången till elfordon kan underlättas; storleksordningen på besparingarna går dock inte att uppskatta i detta skede utan projektet bidrager snarare med viktig kunskap inom området för såväl projektparter som övriga organisationer i Sverige som gagnar omställningen som behöver ske. Dessutom har projektet lett till nya projektmöjligheter ihop med fordonsparter till nytta för svensk industri och samhälle.

Publikationslista

Följande material har producerats inom ramarna för projektet. Referens 9 och 11 bilägs denna rapport och allt material är åtkomligt via hemsidan www.wich.se.

1. [SP 4P07673 Electrical safety testing of inductive charger Evatran P2.033](#)
Resultat av elsäkerhetsprov av induktionsladdningsutrustningen.
2. [SP 4P08476A EMC test on Chevrolet Volt Hybrid with Plugless charging system](#)
Resultat av EMC-prov av Chevrolet Volt med induktionsladdningssystem.
3. [SP 4P08476B EMC test on Nissan Leaf with Plugless charging system](#)
Resultat av EMC-prov av Nissan Leaf generation I med induktionsladdningssystem.
4. [SP 4P08476C EMC test on Nissan Leaf with Plugless charging system](#)
Resultat av EMC-prov av Nissan Leaf generation II med induktionsladdningssystem.
5. [SP 4P08476D EMC test of plugless charging station](#)
Resultat av EMC-prov av laddstationen.
6. [J. Estenberg: Magnetfält från induktiv elbilsaddning, SSM2016-3167-1](#)
Resultat från uppmätning av magnetfält i och runt bilen.
7. [Verkningsgradsmätning 3 20160309-20160311](#)
Resultat från uppmätning av verkningsgraden vid laddning i verklig miljö och i bilens position relativt laddplattan varierad.
8. [Harmonic Measurement Campaign – WICH Wireless charging, Vattenfall](#)
Uppmätning av elnätspåverkan i verklig installationsmiljö.
9. [S. Pettersson, J. Andersson, T. Fransson, M. Klingegård, J. Wedlin: Large Scale Testing of Wireless Charging in Sweden, EVS29 Symposium Montréal, Québec, Canada, June 19-22, 2016](#)
10. [F. Hermasson, L. Axelsson, R. Granström: Experiences from Data Collection in Living Labs- The Swedish National database for Car Movements, EVS29 Symposium, Montréal, Québec, Canada, June 19-22, 2016](#)
11. [J. Andersson, M. Nilsson, S. Pettersson: Introducing wireless charging for drivers of electrical vehicles in Sweden – effects on charging behaviour and attitudes, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Orlando 2016](#)
12. [J. Alfredsson, L. Fernandez; Development of a measuring system for parking position – Master's Thesis in Complex Adaptive Systems, Chalmers University of Technology and University of Gothenburg, Master's Thesis 2014:1](#)

Ytterligare publikationer planeras, men dessa är i dagsläget inte accepterade.

Exempel på nyheter där WiCh har omnämnts

Vi i Kista, 2016-10-19

<http://www.stockholmdirekt.se/nyheter/framtiden-med-tradlos-teknik-for-elbilar/repdpnpjo!2JGyhu0jSZG80yYq5KN@xQ/>

Dagens Nyheter, 2016-09-13

<http://www.dn.se/sthlm/nya-laddgator-ska-framja-elbilar/>

Dagens Nyheter, 2015-09-12

<http://www.dn.se/arkiv/motor/snart-slipper-du-trasslet-med-sladden/>

Vattenfall, 2015-08-17

<http://medsamladkraft.se/formge-framtiden>

Nyhetsbrev OMEV, 2015-05-08

Viktoria Swedish ICT, 2015-05-06

<https://www.viktoria.se/media/news/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar>

Vårt Göteborg, 2015-05-06

http://www.vartgoteborg.se/prod/sk/vargotnu.nsf/1/trafik.elbilar_laddas_tradlost

Ny Teknik, 2015-05-06

http://www.nyteknik.se/nyheter/fordon_motor/bilar/article3905994.ece

GöteborgsPosten (GP), 2015-05-06

<http://www.gp.se/nyheter/sverige/1.2706278-elbilar-ska-laddas-via-platta-i-marken>

GöteborgsPosten (GP), 2015-05-06

<http://www.gp.se/nyheter/goteborg/1.2708293-goteborg-far-tradlos-elbils-laddning>

GöteborgsPosten (GP), 2015-05-06 Pappersformat

Stockholms stad, 2015-05-06

http://www.mynewsdesk.com/se/stockholms_stad/pressreleases/sverige-foerst-i-europa-att-testa-traadloes-laddning-av-elbilar-1153615

Expressen, 2015-05-06

<http://www.expressen.se/motor/elbilar-ska-laddas-utan-sladd/>

Svenska Dagbladet (SvD), 2015-05-06

http://www.svd.se/nyheter/inrikes/elbil-far-kraft-utan-sladd_4541498.svd

Elektroniktidningen, 2015-05-06

http://etn.se/index.php?option=com_content&id=60849&Itemid=171

Helsingborgs Dagblad (HD), 2015-05-06

<http://www.hd.se/nyheter/sverige/2015/05/06/elbil-far-kraft-utan-sladd/>

Veckans Affärer, 2015-05-06

<http://www.va.se/nyheter/2015/05/06/sverige-ska-bli-forst-i-europa-att-ladda-elbilar-tradlost/>

Vattenfall, 2015-05-06

<http://corporate.vattenfall.se/nyheter/pressmeddelanden/2015/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar/>

Vattenfall (eng), 2015-05-06

<http://news.vattenfall.com/en/article/wireless-charging-future-electric-cars>

News Cision, 2015-05-06

<http://news.cision.com/se/vattenfall/r/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar,c9768982>

Motormagasinet, 2015-05-06

<http://www.motormagasinet.se/alla/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar/>

Redeye, 2015-05-06

<http://www.redeye.se/aktieguiden/press/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar>

Nyhetsbrevet Energimarknaden, 2015-05-06

<http://www.svenskanyhetsbrev.se/Energimarknaden/Nyhetsarkivet/Energi-Online/2015/05/06/Vattenfall-pionjartestar-tradlos-laddning-av-elbilar/>

Webfinanser, 2015-05-06

<http://webfinanser.com/nyheter/2575257/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar/>

TestSiteSweden, 2015-05-06

<http://www.testsitesweden.com/nyheter/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar>

Elinstallatören, 2015-05-06

<http://www.elinstallatoren.se/innehall/nyheter/2015/maj/darfor-testas-tradlos-laddning/>

Nordiska Projekt Energi, 2015-05-06

<http://nordiskaprojektenergi.se/under-2015-ska-tradlos-laddning-installeras-goteborg-stockholm-och-uppsala/>

Energinyheter, 2015-05-06

<http://www.energinyheter.se/2015/05/vattenfall-demonstrerar-tradlos-elbils-laddning>

Branschkanalen, 2015-05-06

<http://branschkanalen.se/sverige-forst-i-europa-att-testa-tradlos-laddning-av-elbilar/>

Dagens Industri, 2015-05-06

<http://www.di.se/artiklar/2015/5/6/elbil-far-kraft-utan-sladd/>

WorldNews, 2015-05-06

http://article.wn.com/view/2015/05/06/Sverige_forst_i_Europa_att_testa_tradlos_laddning_av_elbilar/

Apollo, 2015-05-06

<http://apollo.fl-net.se/news/viewNews.do?id=667977>

Metro, 2015-05-06

<http://www.metro.se/nyheter/elbil-far-kraft-utan-sladd/Hdzoef!SBFvVGTTIcTFivOViyWmDA/>

SydSvenskan, 2015-05-06

<http://www.sydsvenskan.se/sverige/elbil-far-kraft-utan-sladd/>

Mylder.no, 2015-05-06

<http://www.mylder.no/tips/19401859/Elbilen+laddas+tr%C3%A5dl%C3%B6st>

NorrköpingsTidning, 2015-05-06

<http://www.nt.se/nyheter/in-och-utrikes/elbil-far-kraft-utan-sladd-11003973.aspx>

Borås tidning, 2015-05-06

<http://www.bt.se/tt-inrikes/elbil-far-kraft-utan-sladd/>

SenasteNytt, 2015-05-06

<http://www.sn.se/nyheter/inrikes/1.3154889>

Länstidningen Södertälje, 2015-05-06

<http://lt.se/nyheter/sverige/1.2961684-elbil-far-kraft-utan-sladd>

Hallands Nyheter, 2015-05-06

<http://hn.se/nyheter/sverige/1.3962756-elbil-far-kraft-utan-sladd>

Norrbottenskuriren, 2015-05-06

<http://www.kuriren.nu/nyheter/elbil-far-kraft-utan-sladd-8270273.aspx>

Dagens Näringsliv, 2015-05-06

<http://www.dagensnaringliv.se/>

Referenser, källor

www.wich.se

www.plugless.com

<http://www.ieahev.org/tasks/wireless-power-transfer-task-26/>

Bilagor

- Bilaga 1 – Administrativ bilaga, enligt Energimyndighetens önskemål.
- Bilaga 2 – Publikation 9 ovan: S. Pettersson, J. Andersson, T. Fransson, M. Klingegård, J. Wedlin: Large Scale Testing of Wireless Charging in Sweden, EVS29 Symposium, Montréal, Québec, Canada, June 19-22, 2016
- Bilaga 3 – Publikation 11 ovan: J. Andersson, M. Nilsson, S. Pettersson: Introducing wireless charging for drivers of electrical vehicles in Sweden – effects on charging behaviour and attitudes, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Orlando 2016

Bilaga 1

Administrativ bilaga, enligt Energimyndighetens önskemål.

Projektledare Stefan Pettersson
Projekttitel Demonstration och utvärdering av induktiv laddning

Administrativ bilaga till Slutrapport

Uppföljning av måluppfyllelse och nyttiggörande

I samband med att ni lämnar in slutrapport för ert projekt ska också denna blankett fyllas i och läggas som bilaga till slutrapporten.

Denna blankett riktar sig till Energimyndigheten, och visas *inte* i vår externa projektdataas.

Syftet med blanketten är att följa upp projektets måluppfyllelse enligt Energimyndighetens beslutsdokument, eventuella avvikelser i projektets måluppfyllelse och genomförande samt vad projektet har gjort/kommer att göra för att projektets resultat ska komma till gagn för övriga samhället. Samtidigt följer vi också upp ett antal generella indikatorer som Energimyndigheten följer för de projekt vi stödjer.

Detta dokument ska skickas in som en bilaga till slutrapporten via E-kanalen.

1. Projektets måluppfyllelse

a) Vilka var projektets mål (enligt Energimyndighetens beslutsdokument)?

Huvudmålsättningen med projektet är att få svar på frågan om induktionsladdning förändrar användarnas laddbeteende och medför en mer frekvent inkoppling av elfordonen mot elnätet.

Projektet förväntas i övrigt uppfylla följande målsättningar:

1. Möjliggöra/installera en automatisk induktionsladdning som underlättar för användaren att ladda fordonet.
2. Ta reda på hur användarna upplever och använder automatisk induktiv laddning, om möjligt i relation till icke-automatisk laddning där kabel används.
3. Verifiera eller förkasta hypotesen att automatisk induktiv laddning underlättar för användarna och att detta därmed kommer leda till mer frekvent inkoppling av fordonen mot elnätet.
4. Se effekterna av induktionsladdning på elnätet, både ur teknisk och ur användarnas synvinkel (den senare frågan kopplar till föregående punkt).
5. Verifiera att existerande lösningar för induktionsladdning är tekniskt

mogna produkter som är ekonomiskt försvarbara.

6. Erhålla tekniska erfarenheter från den induktiva laddutrustningen. Bl.a. avses att studera verkningsgrad, elektromagnetiska fält, magnetfält etc.
7. Sprida erhållna resultat genom PR events, seminarier och publicering på konferenser/i tidskrifter.
8. Delta i de standardiseringsorgan som finns kring induktionsladdning.

b) Hur förhåller sig projektets resultat till projektets mål?
För vart och ett av projektets mål, redovisa de viktigaste resultaten och bedöm i vilken utsträckning och/eller på vilket sätt dessa bidrar till att projektets mål uppnåts eller kan komma att uppnås. (Exempel: Om projektets mål var att fram en prototyp av ett visst slag som sparar x kWh jämfört med en viss annan teknik, berätta hur många kWh som faktiskt sparas med den teknik som tagits fram inom projektet jämfört med den referensteknik som angavs i målet).

Samtliga ovanstående mål har uppfyllts.

Avseende övriga målsättningar:

1. Induktionsladdning har installerats i 20 bilar hos Vattenfall, Stockholm Stad och Gatubolaget Göteborg.
2. Användarnas upplevelse av användning av induktionsladdning i relation till laddning med sladd har studerats i 4 enkäter, intervjuer och loggning av ladd-data.
3. Användarna ser trådlös laddning som en framtidslösning, om och när den kan fås att fungera problemfritt. Det finns indikationer på att man då kommer att ladda oftare.
4. Den i projektet provade utrustningen var inte anpassad för europeiska förhållanden och hade också en för stor förlustfaktor vilket skulle kunnat påverka elnätet vid större antal installerade utrustningar. Framtida utrustningar förutsätts uppfylla CE-kraven och då inte få dessa problem.
5. Än så länge finns bara en eftermarknadslösning på marknaden men flera fordonstillverkare är på gång att erbjuda egna lösningar. Stötestenen har framförallt varit standardisering. De tekniska komponenterna i sig är inte speciellt dyra vilket gör att utrustningen bör kunna tillverkas till ett rimligt pris. Inledningsvis kommer de sannolikt att marknadsföras till premium-segmentet och då med ett relativt högt pris.
6. Ett flertal tekniska parametrar har mätts upp. Verkningsgraden i praktiskt bruk är ca 83 %. De magnetiska fälten under bilen kan vara relativt höga vilket framtida lösningar bör adressera. Avseende elnätspåverkan, se punkt 4 ovan.
7. Projektet har presenterats vid invigningsevent, i en film från Vattenfall, ett flertal tidningsartiklar, 3 vetenskapliga artiklar presenterade vid konferenser samt vid projektets avslutande resultatseminarier. En möjlig tidskriftsartikel planeras, men den görs utanför projektets plan och budget.
8. Projektet har deltagit i IEAs standardiseringsarbete.

2. Kommentera eventuella betydande avvikelser i projektets måluppfyllelse och/eller genomförande i förhållande till Energimyndighetens beslut om stöd till projektet

Om projektet inte nått målen eller om betydande förändringar gjorts i projektets genomförande jämfört med projektbeslutet, motivera detta. Beskriv också vad som har gjorts för att motverka dessa avvikelser.

3. Spridning och nyttiggörande av resultatet i samhället

- a) Hur har projektet arbetat för att sprida projektets resultat och/eller på andra sätt se till att det kommer till nytta? Vilka eventuella ytterligare aktiviteter kommer att göras framöver?
Beskriv projektets genomförda och planerade kommande aktiviteter för att sprida projektets resultat och/eller på andra sätt se till att det kommer till nytta i samhället. Berätta också om ni har förslag på resultat som ni eventuellt skulle vilja kommuniceras genom Energimyndighetens kanaler (genom nyhet, information riktad till Energi – och klimatrådgivare etc), och föreslå i så fall gärna hur detta skulle kunna göras.

Press-releaser och aktiviteter i samband med lanseringen i Stockholm och Göteborg maj 2015, med stort gensvar och ett flertal artiklar.

Seminarium under Almedalsveckan i Visby 2015.

Film framtagen av Vattenfall.

Resultatseminarier för samtliga medverkande och andra intressenter i Stockholm och Göteborg november 2016.

Två vetenskapliga artiklar till EVS29 i Montréal och en till AHFE2016 i Florida. En vetenskaplig artikel planeras till EVS30 i Stuttgart.

Etablerad allmänt tillgänglig projekthemsida www.wich.se.

Spridning av projektets existens och resultat i standardiseringsarbetet, t.ex. IEA-HEV Task 26.

Spridning av projektets existens och resultat i samband med presentation av Viktoria i diverse sammanhang.

- b) Har eller planeras projektet resultera i några patent eller andra bevis på rättigheter till resultat, eller några ansökningar om detta? Om bevis på rättigheter till resultat tagits ut eller ansökningar planeras, vem äger/har nyttjanderätt till dessa? Beskriv detta i så fall här.

Nej.

4. Eventuella bilagor till rapporten som inte ska visas i Energimyndighetens externa projektdatabas

- a) Innehåller slutrapporteringen bilagor som inte ska visas i Energimyndighetens externa projektdatabas? Slutrapporten ska alltid kunna visas i Energimyndighetens externa projektdatabas. Däremot visas inte denna Administrativa bilaga i projektdatabasen. Innehåller slutrapporteringen andra bilagor som inte ska visas i Energimyndighetens externa projektdatabas?

☐ Ja

☒ Nej

- b) Om "Ja" i frågan ovan, vilka bilagor gäller det?
Skriv filnamnen på eventuella bilagor till slutrapporten som inte ska visas externt här.
Bilagor som inte ska exponeras externt ska märkas upp genom att "EJ SPRIDNING" skrivs in i dokumentets rubrik.
Alternativt kan dokumentet vattenstämplas med "EJ SPRIDNING". Dessutom ska i filnamnet läggas in ordet
"SEKRETESS" alternativt "EJ SPRIDNING".

Bilaga 2

Publikationen:

S. Pettersson, J. Andersson, T. Fransson, M. Klingegård, J. Wedlin: Large Scale Testing of Wireless Charging in Sweden, EVS29 Symposium, Montréal, Québec, Canada, June 19-22, 2016

Large Scale Testing of Wireless Charging in Sweden

Stefan Pettersson¹, Jonas Andersson, Tommy Fransson, Maria Klingegård, Johan Wedlin

¹*Viktoria Swedish ICT, Lindholmspiren 3a, 417 56 Göteborg, Sweden, stefan.pettersson@viktoria.se*

Summary

Wireless charging has the potential to simplify charging of electric cars, a technology that is now tested on a larger scale in Sweden in an ongoing project denoted WiCh (Wireless charging of electric vehicles). Inductive wireless chargers have been installed in a total of 20 electric vehicles located in Sweden, which means that so far the study is the largest demonstration activity of inductively charged vehicles in the world. The technology will be demonstrated and assessed during a year, and the experiences gained so far are outlined in this paper.

Keywords: EV (electric vehicle), PHEV, inductive charger, wireless charging, demonstration.

1 Introduction

Plugin electric vehicles, including both chargeable electric vehicles and plugin hybrid electric vehicles, have potential to reduce emissions, pollutions, oil dependency and traffic noise. The number of plugin electric vehicles and charging points increase in the world [1]. However, the market share of rechargeable vehicles is still modest, possibly with Norway as an exception, and there are several barriers pointed out; electric vehicles being more expensive than conventional fossil fueled cars, current battery technology, inadequate consumer knowledge and lack of charging infrastructure are some obstacles mentioned in [2]. In [3], the conclusion has been made that important real barriers to battery electric vehicle deployment are range, price, awareness and the availability of charging infrastructure. Range anxiety has earlier also been pointed out as a potential obstacle [4].

The charging cable can also be a potential barrier for electric car buyers. Therefore, several solutions have been proposed to make automated refueling systems for vehicles, both for fossil fueled cars, see e.g. Husky and Fuelmatics' Automatic Refueling System prototype [5], as well as for electrically charged vehicles, see e.g. Tesla's snakelike charger prototype [6]. However, an obvious drawback with these types of robotic fueling systems is high manufacturing costs, and it is unlikely that these products will be a mass-market home charging solution, if for anyone at all.

Another possibility is to charge plugin electric vehicles wirelessly without a cable or a cord between the charger and the charged vehicle. Charging with wireless technology is convenient and can be fully automated in the future, giving electric vehicles an advantage over fossil-fueled cars since they then can charge automatically when parked, e.g. at home in the garage, and there is no longer a need to go to the gas station. Furthermore, the wireless charger could potentially have lower lifecycle costs, due to the lack of a cable or plug which could be damaged or vandalized. Conductive charging [7] and inductive charging [8] are two types of wireless charging. Conductive charging uses a conductor to connect two electric devices in order to transfer energy, and requires contact between the charger and the charging device.

Inductive charging is a technology where a magnetic field is used to transfer energy between two objects. An alternating current in the primary coil creates an alternating magnetic field that induces an alternating

current in the secondary coil, see Figure 1a. In the case of charging vehicles, the primary coil is normally placed on top of, or mounted in the ground surface, and the secondary coil is mounted under the vehicle, see Figure 1b. As a technology, inductive charging has been known for a long time. However, transferring energy over a fairly long distance, e.g. from the ground to the underside of the vehicle, with high efficiency is challenging. A decade ago, a new technology with strongly coupled magnetic resonances was invented [9], which made it possible to transfer energy over distances up to several times the radii of the coils with high efficiency, opening up for efficient charging solutions for plugin electric vehicles.

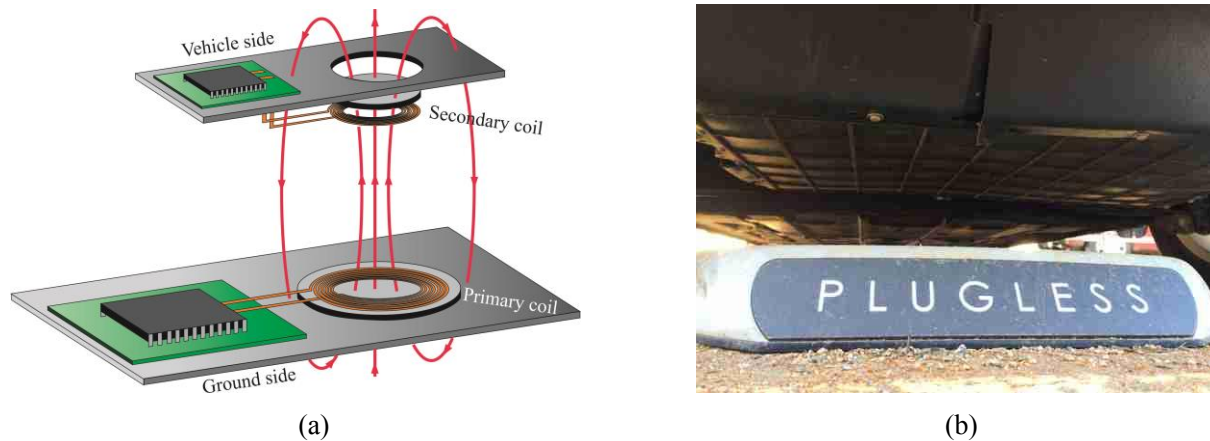


Figure 1: (a) Inductive charging where an alternating current in the primary coil generates an alternating magnetic field (indicated by red field lines) which induces an alternating current in the secondary coil. (b) In reality, the primary coil and its electronics are encapsulated and placed e.g. on the ground with the secondary coil and its electronics mounted underneath the vehicle, here under the square patterned guard.

Currently, even though several suppliers have stated that they are involved in the business of inductive charging, it is almost impossible to buy and test their equipment. Published news and personal contacts indicate that the suppliers try to sell the equipment directly to the car manufacturers, instead of testing it in a public environment. However, there is one exception described next.

WiCh – Wireless Charging of electric vehicles – is an ongoing project in Sweden [10], financed by the Swedish Energy Agency together with the project partners, where the purpose is to determine how the inductive charging technology works under Swedish real life conditions with for example cold temperatures, moisture and snow. During 2015, Evatran installed its **Plugless**[®] system of inductive wireless chargers in a total of 20 electric vehicles located in Gothenburg, Stockholm and Uppsala. This means that this Swedish study is the first large-scale demonstration of wireless charging outside North America [11]. Previous trials have only been performed in laboratory environments.

Wireless charging solutions can be convenient and have the potential to be an appreciated feature for electrically charged vehicles. Of course, the suppliers believe in future business, and so do several Original Equipment Manufacturers (OEMs), see e.g. [12] and [13]. However, it is important for other stakeholders as well to increase their knowledge by getting insights into the technology and find out what pros and cons users experience when handling the equipment as well as study how users interact with the new technology. This is the main reason for making this demonstration project around the new technology; the demonstrator will serve as a living lab research platform.

The electric cars with installed inductive charging are mainly used by municipality representatives, who use them in their ordinary daily operations. The main research objective of the WiCh-project is to answer the question if induction charging changes the users' charging behavior and if it causes more frequent connection of electric vehicles to the grid. However, before collecting data and answering this question, a phase of finding suppliers and installing the equipment has been performed. This paper focuses on this aspect and will highlight the experiences gained and the complexity of getting a project up and running. Some initial field trial results will also be given. Further project results can be found in [14] and [15].

The outline of the paper is as follows: First, a short description of the project is given including some of the project challenges. Technical Tests 3 explains the technical tests, followed by initial field trial experiences. The paper is ended with conclusions and future work.

2 Project Challenges: Setting up a Large-Scale Demonstration Trial

During 2011 a pre-study performed by Vattenfall and Viktoria Swedish ICT was granted by the Swedish Energy Agency, where different potential technologies that could facilitate automated and convenient charging of electric vehicles were studied. The potential charging solutions were evaluated by several overall criteria like accuracy, vandalism resistivity, estimated product cost, maintenance cost, efficiency, aesthetics, safety and sensitivity to snow and dirt. The main conclusion from the pre-study was that wireless charging by induction was deemed to have the greatest potential. Several suppliers of inductive wireless charging equipment were identified and contacted; some of them stated that they would be capable and willing to supply equipment to a demonstration project. Therefore, a demonstration project was formed and submitted as an application. The top row of Figure 2 indicates the phases of the pre-study, ending with a submitted application and an approved project, the WiCh-project that this paper is about.

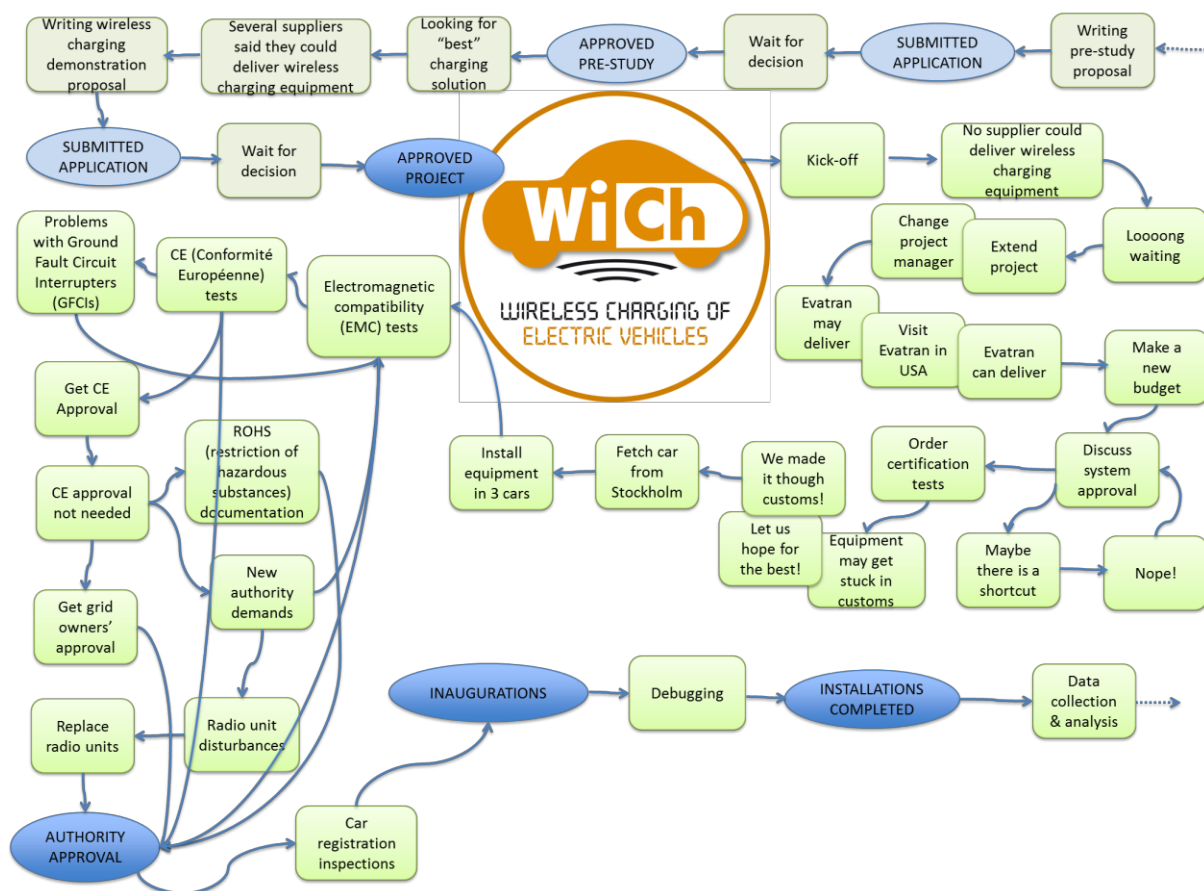


Figure 2: The main activities (green boxes) and milestones (blue ellipses) in the WiCh-project.

The aim of the WiCh project is to demonstrate and evaluate wireless charging with municipality users driving on public roads, to build knowledge and experiences both regarding technical issues like efficiency, EMC, electrical safety, radiation levels, robustness, costs, as well as user experiences and attitudes. The main hypothesis is that with wireless charging, vehicles will be more frequently charged compared to manually charging with cable. In addition, another hypothesis is that electric vehicle drivers will think that wireless charging is more attractive than charging with cable. We are furthermore interested in the possible concerns drivers may have regarding the safety aspects of inductive charging.

However, it turned out that to demonstrate and evaluate new technologies presented several challenges that had to be addressed, see Figure 2 for details, each of which with specific issues:

1. Acquiring and installing equipment
2. Getting approval for usage
3. Finding vehicles and users

2.1 Acquiring and Installing Equipment

Once the demonstration project WiCh had started in the autumn of 2012 and the suppliers were again contacted, it turned out that none of them were willing to deliver the charging equipment. We can only speculate about the reasons for this change, but it seems likely that both the technology had not matured as quickly as expected and that the suppliers prioritized future business with vehicle manufacturers over public demonstrations. Regardless of the reason, there was no other option than to put the project on hold and continue the dialog with the suppliers hoping for anyone to be willing to deliver the equipment.

During the spring of 2014, the American start-up company Evatran launched their Plugless[®] system to the American aftermarket for Chevrolet Volt and Nissan Leaf. Evatran was again contacted but hesitated to deliver their equipment since it only had been approved for the US market, which had required a lot of testing and approval from the authorities. After further discussions and a visit to Evatran, we all agreed to use their equipment in our project anyway, and 4 initial systems were ordered for certification tests in Sweden.

The delivery of these systems presented a specific challenge. According to custom regulations, non-certified equipment may only be imported for test and evaluations. The intention we had was to first use them for certification tests and then afterwards use them in the actual demonstration project. This double usage created a “Catch 22” situation: the systems could not be imported for demonstration use until they were approved, but we could not get them approved before they were imported. After several discussions with customs authorities and logistics companies, a few systems were first temporarily imported for testing, then temporarily exported. These systems and the remaining systems were then finally imported for usage when tests indicated they were approved (see Section 2.1 below).

The first systems were installed in 3 vehicles in December 2014. After receiving the approval for usage, an additional 17 systems were ordered and installed by Evatran and authorized Swedish electricians in May 2015. Finally, Stockholm and Gothenburg city officials could inaugurate the demonstration phase on May the 28th and 29th of 2015 respectively. In retrospect, the time from the first delivery of systems for certification to approval was 5 months, and the total time from project start to installed systems was 32 months – including 12 months during which the project was put on hold.

2.2 Getting Approval for Usage

In Sweden, to put any new technology on public roads requires approval from the Swedish Transport Agency. In this case, they in turn relied on statements from the Swedish National Electrical Safety Board, the Swedish Post and Telecom Authority and the certification laboratory at SP Technical Research Institute of Sweden.

In general, such equipment as this can be regarded as a “fixed installation”, which means that it does not have to be CE marked, although in principle the same requirements should be fulfilled. In this case, the complete system mounted in the car had to pass EMC tests, electrical safety tests and fulfil the RoHS (Restriction of Hazardous Substances) directive. The results and experiences from these tests are given in Section 3 below.

2.3 Finding Vehicles and Users

To get information about usage and getting access to 20 electric and plug-in electric vehicles together with users, a project consortium was built with the partners:

- City of Stockholm (5 vehicles in Stockholm)
- City of Gothenburg (14 vehicles in Gothenburg)
- Vattenfall AB (1 vehicle in Uppsala)
- Swedish Radiation Safety Authority
- Test Site Sweden (measurements)
- Viktoria Swedish ICT AB (project leading and research)

The vehicle owners were initially concerned that the warranties of the vehicles in the project would be void due to the modifications during the installation process. However, these concerns could easily be resolved since Evatran, as most other aftermarket suppliers, takes the warranty for any problems that occur due to their equipment.

The recruited users of the vehicles are people working with elderly care or parks, employees at the local energy company, volunteers in neighborhood watch, etc., and they use the vehicles in their day to day business. Vattenfall employs one user who also uses the vehicle for personal travels. All users are experienced electric vehicle drivers.

To ensure the users' safety, Swedish Radiation Safety Authority performed measurements of magnetic fields inside and around the vehicle. Since the fields measured were below the levels given by the Swedish Work Environment Authority, but above the requirements for public spaces, all charging stations (control box, primary coil, filters, etc.) were set up in closed parking spaces dedicated only to employees.

3 Technical Tests

In order for the project to be able to use the equipment within the European Union the following requirements were identified as necessary to be tested against:

- Conformité Européenne (CE) related tests:
 - Directive 2014/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of electrical equipment designed for use within certain voltage limits.
 - Directive 2014/30/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility (recast):
 - Emission, EN 61000-6-3:2007/A1:2011
 - Radiated emission
 - Conducted emission
 - EN 61000-3-2 Harmonics
 - EN 61000-3-3 Voltage fluctuations and flicker
 - Immunity, EN 61000-6-1:2007
 - EN 61000-4-2 Electrostatic discharge
 - EN 61000-4-3 RF electromagnetic field
 - EN 61000-4-4 Fast transients
 - EN 61000-4-5 Surges
 - EN 61000-4-6 RF conducted disturbances
 - EN 61000-4-8 Power frequency magnetic field
 - EN 61000-4-11/34 Voltage dips and interruptions
 - Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).
 - Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS).
- E-mark related tests:
 - UN ECE Regulation No. 10.04. 04 series of amendments, including amendment 2:2013
 - Annex 4, radiated broadband emission 30-1000 MHz (CISPR 12:2009)
 - Annex 5, radiated narrowband emission 30-1000 MHz (CISPR 12:2009)
 - Annex 6, Radiated immunity (ISO 11451-2) 20-2000 MHz
 - Annex 11, Harmonics on AC power lines
 - Annex 12, Emission of voltage changes, voltage fluctuations and flicker
 - Annex 13, Emission of conducted RF on AC or DC power lines
- Swedish Post and Telecom Authority, Direction of Exemption from License Obligation, PTSFS 2014:5.
- Magnetic field strength, Swedish Work Environment Authority 2015/015968 and directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields).
- Swedish Transport Agency, Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om bilar och släpvagnar som dras av bilar (TSFS 2010:2). Loosely translated; Swedish Transport Agency's general rules and regulations on cars and trailers pulled by cars (TSFS 2010:2).

Since the charging equipment at least partly is mounted in the vehicle and as such might alter the behavior, it was also necessary to get an approval with regards to UN ECE Regulation No. 10:Rev4:2012, 04 series of amendments, including amendment 2:2013. One way to approach this regulation, and the one that was chosen, is to test the system installed in a specific car model. This will then not give a general approval, but instead only be relevant to the installed equipment in the specific model it's been tested on. Testing was done by SP Technical Research Institute of Sweden, see Figure 3, the Swedish Radiation Safety Authority and an accredited motor vehicle inspection facility.

Not all tests came back with a positive result necessitating a mix of actions in order to fulfill all regulations:

- Directive 2014/35/EU (more commonly known as the low voltage directive): Minor deviations from the requirements which a risk analysis performed by SP Technical Research Institute of Sweden showed could be mitigated with an amendment to the documentation and a change in operating temperature. As an example the analysis showed that a relay in the charger could overheat if the surrounding temperature was approaching the specified 50°C maximum operating temperature. Since the temperature in Sweden very seldom exceeds 30°C and most chargers are mounted either in basements or under a roof this was deemed to be acceptable during the project. Other examples include a non-EU standard electrical cable color, a minimum electrical creepage distance on the lower side, as well as a lacking marker for the electrical ground.
- EN 61000-6-3:2007/A1:2011, radiated emissions: Minor deviations, and a radio module not specified to the newly mandatory regulation ETSI 300 328 v.1.8.1 was detected, leading to the project replacing the radio modules to a newer version specified to the new regulation.
- UN ECE Regulation No. 10.04. 04 series of amendments, including amendment 2:2013, Annex 5: A peak in horizontally polarized radiated emissions at approximately 203MHz, see Figure 4, prompted the need for an exemption, which was granted by the Swedish Post and Telecom Authority (PTS) and the Swedish transport agency.
- Conducted emission, EN 61000-6-3:2007/A1:2011 and UN ECE Regulation No. 10.04. 04 series of amendments, including amendment 2:2013 annex 13: Test results indicated radiated emissions exceeding the regulatory limits. By treating the electrical installation as a fixed installation and installing an RF filter on the incoming power cable the emissions could be negotiated.
- Harmonics, EN 61000-3-2 and UN ECE Regulation No. 10.04. 04 series of amendments, including amendment 2:2013 annex 11: Large deviations from the required limits. Exemptions from the regulation were acquired by the electrical transmission system operators (TSO) after a safety analysis done by the local TSO for each installation site.
- RoHs and WEEE: During the necessary timeframe in the project it was not possible to guarantee that all the components were RoHs compliant. There are somewhat less stringent rules when it comes to equipment used for research, but as a way to mitigate the uncertainty with regards to RoHs compliance a contract with the supplier was established where the equipment will be exported back to the supplier for proper disposal.

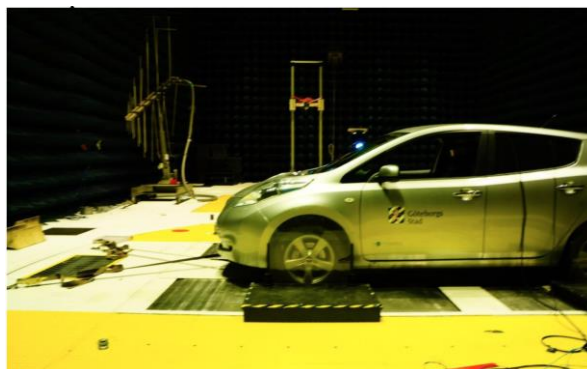


Figure 3: Test setup measuring radiated emission, 30-1000MHz, charging right side, horizontal polarization.

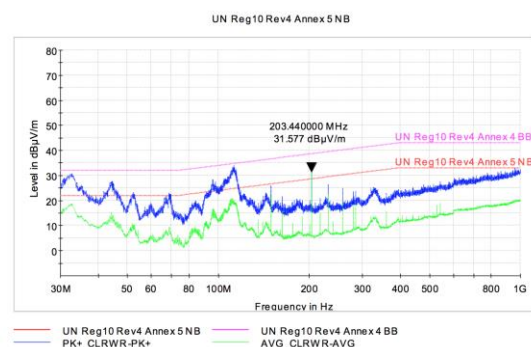


Figure 4: Result measuring radiated emission, 30-1000MHz, charging right side, horizontal polarization.

Due to the above deviations from the requirements, the approval from the Swedish Transport Agency that was received on April 30, 2015 was only temporary for about 2 years.

4 Field Trial: the Effect of Introducing Wireless Charging for Electric Vehicle Drivers

The WiCh-project is now in the stage of data collection and analysis; see the lower right milestone in Figure 2, and will continue until the autumn of 2016. The project will then be summarized and finalized. The remaining part of this paper will describe the study performed to fulfil the main research objective of the project and some initial field trial results gained so far.

The study was carried out as a comparative study of charging with cable (Stage 1) and charging with inductive wireless charging (Stage 2) to explore change in attitudes towards practical use, attractiveness and perceived safety when introducing wireless charging. Stage 1 of the study also captured drivers' expectations of inductive charging.

4.1 Data Collection

The data collection consisted of logged driving and charging data from the 20 vehicles together with a specially developed digital survey (see [14] for further details) to collect the experiences and attitudes of the drivers throughout the trial period. So far, approximately 200 survey responses have been collected. The data collection has been complemented with a set of transcripts from interviews performed in Stage 1. Interviews for Stage 2 are yet to be performed. The first interview study (I1) involved 11 experienced drivers using either battery electrical vehicles or plug-in hybrid vehicles. The drivers used the vehicles either for private errands (i.e., a vehicle owned by themselves) or as transport vehicle in their daily work (i.e., a vehicle owned by their employer). The second interview study (I2) involved key users at each of the participating sites to identify expectations on inductive charging. The first digital survey (Q1) (N=65) was distributed to the drivers in May 2015, before the introduction of inductive charging. The second survey (Q2) (N=56) was distributed approximately two months after installation, and the third survey (Q3) (N=44) about four months after installation of inductive charging. The age distribution among the drivers was 26 to 76+ years for all three surveys and the main part of respondents were between 36 and 55 years of age. All respondents can be considered as experienced electric vehicle drivers while using the vehicles regularly in their daily work tasks. A majority of the drivers had more than 12-months experience of driving electric vehicles. All participants came from the project partner organizations within WiCh. The distribution of responses from each site was roughly 5-15% of total responses with one deviating organization with much higher (35-55% of total) response rate for the three surveys.

4.2 Results

In this paper, an overview of the results from performed interviews in Stage 1 and data from the first 3 digital surveys are presented.

4.2.1 Stage 1: Before the Introduction of Wireless Charging

Experience of charging with a cable

A grounded theory analysis of the first interview study (I1) identified that the charging of electric vehicles can be considered as an easy task to perform. Several isolated and integrated factors were identified to contribute to this positive experience. First of all, all drivers had not experienced any major negative experience related to the charging activity. In addition, respondents also highlighted that charging becomes easy when compared to "booking and accessing the electrical vehicle and drive the vehicle to a destination". This is further emphasized in the questionnaire study (Q1) which showed that 90% of the respondents were positive towards the design of the process of charging with cable. Also, 92% of the respondents were positive regarding the usability of the charging equipment when charging with cable. The interview study (I1) also identified that charging is a highly motivational activity which differ in such a way that organizational motivational factors (a routine written down and the decision made by someone other than yourself) is more prominent in electric vehicle (cooperate) drivers and individual motivational factors (price, environment, technology) is present in drivers of plug-in hybrid vehicles (private use). Common motivational factors for all respondents include the severity of not performing the activity. The decision 'to charge or not to charge' the vehicle is most often determined by physical constraints such as location of the parking space, or the management of the vehicle in terms of, time available, (current/future) needs and the routines/organizational structure in use. This was further emphasized by the questionnaire (Q1). When asked about the most tedious aspect with charging with cable examples of quotes are: "If the

cable is dirty”, “When colleagues don’t connect the cable”, “To connect and not forgetting to disconnect the cable” and simply “I don’t think it is tedious”. Another comment relates to charging as a part of the electric vehicle experience as a whole: “I drive the car two-three times per month. To connect and disconnect the cable is a minor thing to deal with”. That is, the charging part is minor, while their use also involves administrative tasks that are perceived as more time consuming.

Expectations on inductive charging

The analysis of the first interview study (I1) identified that it would be attractive to take away the cable if possible. It was highlighted that the lack of a cable may reduce some of the negative practical aspects of handling the cable including: “easier”, “more robust”, “less vandalism (no parts sticking up)”, “no one can use the electricity for other purposes”, “more automatic process”, “access at inconvenient places (e.g., not practical to have a charging pole in the middle of a large parking space)”, “less parts to handle”, “more practical”, “no need to handle a cable”, “weather independent”, “charging even during short stops at home”, “more approachable for new users”, “efficient use of time”, “no parts that require storage or moving between vehicle and charging point”. In addition, it was argued that the wireless charging could allow for charging while driving (in the future); this is in particular appealing for some of the interviewee. The interview results were further confirmed with expectations expressed in the first questionnaire (Q1). One of the respondents expressed expectations as “Cable works fine, but imagine the day we can say ‘Remember the time when you were supposed to REFUEL the car!?’ Now you just have to go without handling dirty stuff or spending any time on that [i.e. charging]”. The interviews performed with the representative at each site (I2) highlighted that the introduction of wireless technology could eliminate the risk of arriving at a vehicle that has not been charged. It is also highlighted that wireless charging could be perceived as a more attractive option compared to the handling a cable. All respondents said that they expected it would be an easier charging process when eliminating the cable: “the vehicle will charge itself”. This was confirmed in the questionnaire (Q1): “All improvements are good. Even if I am happy with charging with cable, it is better and more convenient if I could just get into the car and drive.” In particular, it would be easier to attract new users with wireless charging, also confirmed in questionnaire comments, e.g.: “Ultimately it would be beneficial to not having to use the cable, one thing less to think about in one’s stressed daily life, saves time, no dirty hands, reduced risk of sabotage and more harmonic as a car owner (I think). This is another argument for buying an electric car.”. Respondents (Q1) also believed that the vehicle would be charged more, as well as used more often. Some concern regards the safety of the equipment placed on the ground. Also participants were concerned whether or not it would be difficult to park over the charging spot. Limited concern was raised regarding electro-magnetic radiation from the inductive chargers. The respondents argued that inductive charging is common today (e.g., stove, toothbrush, etc.) and the installed technology is tested.

4.2.2 Stage 2: Introducing Wireless Charging

The questionnaire (Q2) highlights that after introduction of inductive charging, the number of positive respondents regarding the usability of the charging equipment was reduced to 72% (Q1: 90%). The analysis of the written comments identified that the difficulty of parking correctly over the charging pad was the main reason for the drop. When asked about the most tedious thing about inductive charging the following type of comments emerged (Q2): “To succeed in parking correctly. ... A better and more forgiving docking of the car would have been good” and “It is difficult to get the car in the correct position at once. It takes some adjustments to get the charging to work”. There were however also respondents who had no perceived problems with the inductive charging (Q2): “None”. The change in opinions related to the time it takes to handle the charging equipment showed a similar pattern as the usability and procedure, showing a drop in positive responses with inductive charging (Q1:86%, Q2:70%). However, the minimum parking time to feel motivated to start the charging was judged to be lower when using inductive technology. That is, the respondents stating that they needed to park at least ten minutes or more before starting the charging dropped from 44% in Questionnaire 1 (Q1- cable charging) to 7% in Questionnaire 2 (Q2- inductive charging)). This despite the decreasing rate of positive answers regarding the time it takes to perform the charging procedure. The experience of having to make several attempts to park the car correctly seems to cause annoyance affecting the answers related to practical use. One respondent expresses the problems as: “To hit the right spot ... I have been forced to reverse back and forth many times to start the charging”. Also, on the multiple-choice question “At the following occasions I have not started the charging despite available charging”, the alternative “The car is parked too short period of time” dropped from 36% (Q1- cable charging) to 3% (Q2) and 8% (Q3) for inductive charging indicating that the

parking time becomes less of an issue with induction when deciding to start charging or not. The inductive charging thus seem to have a potential of leading to more charging occasions, if used in a working context with many short stops (and available inductive charging at the destinations).

4.2.3 Stage 2: Experiences of Wireless Charging

On the question if the electric vehicle is an attractive mode of transport the positive answers increased from 75% (Q1) to 88% (Q2) after introduction of inductive charging. This figure dropped to 68% (Q3) after having used the technology for four months. Similarly, the positive respondents of the charging process dropped to 64% (Q3) (Q2: 72%). Thus, the first impression of inductive charging seems very positive but due to technical issues it did unfortunately not meet the expectations of the users. This is in line with comments such as "Since it has been so much trouble with the technology I can't be positive" (Q3). However, in written comments the respondents also have positive things to say about the technology as such, although not satisfied with the implementation at their specific workplace. For example, respondents state, "It only takes development of the technology, the idea is great" and "Inductive charging as such is good. However it is not suitable always and in all locations...".

Briefly said, the technology is good when it works but there is room for improvements. On the question of preferred mode of charging, the preference for cable charging is almost unchanged between surveys two and three. The preference for inductive charging dropped from 49% (Q2) to 34% (Q3) between surveys, while the indifference alternative increased slightly.

4.2.4 Discussion of Initial Results

The aim of the field trial was to see the effect of introducing inductive wireless charging on charging behavior, perceived attractiveness and safety.

Emerging changes in charging behavior

The results from surveys indicate that new charging patterns are likely to appear when introducing inductive charging. The drivers say that the parking time to motivate a start of charging is shorter compared to cable. Interestingly, when using inductive charging, the task of connecting the cable is replaced by the task of parking correctly over the charging pad (at least in the evaluated charging solution). Since the parking task will still be made, there should be a reduced effort required from the driver. However, the evaluated technology needs refinement for an optimal user experience helping the driver to hit the precise charging spot. (With future autonomous vehicles or integrated automatic parking aid this issue might disappear.) Yet, our results show that the users think it is convenient to get rid of the cable, which promotes use of inductive charging. Combining these results tells us that there is a potential for an increased number of charging opportunities given that the charging infrastructure is present. This means that the charging behavior will be different with inductive charging. Exactly how the charging behavior will change is yet to be studied.

Perceived attractiveness

The initial positive attitude towards the charging process is gradually reduced over time. Based on the written comments, the explanation to this pattern is most likely the difficulties of parking the car correctly over the inductive charger pad in the first attempt. With several attempts needed to find the exact spot for the charging to start, the perceived benefit of not having to handle the charging cable was very much reduced. One reason for the difficulty is the design where the charging pad is placed in the rear of the vehicle, which makes it difficult to make small changes of the car's position to achieve the correct placement for charging. Also, several users complained about the technical malfunctions that plagued the project with problems related to installation (ground circuit breakers), faulty chargers and problems with charging some of the vehicles' 12V batteries.

According to our results, the first impression of inductive charging seems to be perceived very positively. The technical problems in the project however caused the technology not to live up to the expectations of many of the drivers. Also, the difficulties of parking the car correctly over the inductive charger pad in the first attempt, with several attempts needed to find the exact spot for the charging to start, the perceived benefit of not having to handle the charging cable was very much reduced. The positive comments in the free text answers of the technology *as such* still points to a positive attitude although being discontent with the implementation. Other free text answers also points to perceived convenience of inductive charging, not having to handle the cable. The results as a whole point to the importance of a well-designed driver-charger

interaction where the evaluated solution has room for improvements. When the technology works, the drivers also see clear benefits of inductive charging, which reasonably also makes the electric vehicle more attractive. As our study shows, poor interaction design can have the opposite effect.

Perceived safety

The survey result shows that the positive opinions regarding perceived safety drops over time. However, the negative side does not increase accordingly. Instead the opinions seem to have shifted to “No opinion”. An explanation for this could be that the safety aspects regarding electro-magnetic radiation from the inductive chargers are difficult to assess as an individual user. The radiation is invisible and it is impossible to know if you are being exposed while starting or stopping the charging, which might be a source of anxiety.

Despite the drop from the positive side of the perceived safety ratings, very few users have reverted to feeling more negative regarding their perceived safety. In general there is a predominance of positive ratings. Malfunctioning equipment could also add to the insecurity of if the equipment is safe or not, in other aspects than electromagnetic radiation. In the study, we have not seen any substantial evidence that perceived safety should be a hindrance for wider adoption of inductive charging. However, the case could be different for home users where children and pets will be closer to the charging equipment.

5 Conclusions and Future Work

So far, the demonstration of inductive wireless charging shows that the tested charging technology has potential to provide a more convenient way of charging, and hence, never having to “re-fuel” the vehicle. According to the surveys, the most difficult thing compared to charging with cable is to park correctly over the charging pad on the first attempt. Due to the placement of the charging pad at the rear of the vehicle, exact positioning can be difficult. However, the tested equipment still seems somewhat immature to provide an optimal user experience. So far in the study, it is evident that technical problems (e.g. malfunctioning ground circuit breakers, parking difficulties, charging of 12V batteries) affect the attitudes towards inductive charging in a negative way.

The minor difficulty in positioning the vehicle over the charging pad is reinforced by the fact that the inductive charging system is placed in the rear of the vehicle behind the rear wheels (where the spare wheel usually is located), see Figure 1b. The reason for this is that this is the only place underneath the vehicles where there is enough space to mount an aftermarket inductive charging equipment. From a parking point of view, driving into a parking space trying to fit the center of the rear wheels over a point on the ground is trickier than fitting the center of the front wheels [16]. Automatic parking most likely makes parking easier for most drivers. In combination with inductive charging, there is a potential to provide drivers with a convenient automatic parking and charging functionality, thus making electrically charged vehicles more attractive.

Evatran works in relatively quick iterations to improve their Plugless[®] inductive charging system. The feedback from this project gives them valuable input to improve their system. There is no surprise that working early with new technologies leads to technical problems. Even though the user experience is far from optimal, interesting results and experiences can still be gained as this paper shows.

The project is on-going and the final results will be presented at a later stage.

Acknowledgments

Participating organizations in the WiCh project are (in alphabetic order); [City of Stockholm Environment and Health Administration](#), [Göteborgs Gatu AB \(Gatubolaget\)](#), [Viktoria Swedish ICT](#), [Swedish Radiation Safety Authority](#), [Test Site Sweden](#) and [Vattenfall](#). The project is made possible by grants provided by the [Swedish Energy Agency](#) which is very much appreciated. A grateful thought is also sent to all colleagues at Viktoria Swedish ICT and all our partners and network around us that contribute to inspiration and knowledge building. Finally, we appreciate that Evatran decided to deliver their equipment to our demonstration and all interesting technical discussions we have had.

References

- [1] *Global EV Outlook 2015 (GEO 2015) OECD/IEA*, 9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France. http://www.iea.org/evi/Global-EV-Outlook-2015-Update_1page.pdf, accessed on 2016-03-25.
- [2] Transportation Research Board and National Research Council. *Overcoming Barriers to Deployment of Plug-in Electric Vehicles*. Washington, DC: The National Academies Press, 2015. doi:10.17226/21725. <http://www.nap.edu/catalog/21725/overcoming-barriers-to-deployment-of-plug-in-electric-vehicles>, accessed on 2016-03-25.
- [3] Figenbaum, E., Kolbenstvedt, M. Competitive Electric Town Transport. *Main results from COMPETT – an Electromobility+ project*. TØI Report 1422/2015. ISBN 978-82-480-1196-5 Electronic version. Oslo, august 2015. http://www.compett.org/documents/Competitive_Electric_Town_Transport_Main_results_from_COMPETT_-_an_Electromobility+_project.pdf
- [4] M. Nilsson. *Electric vehicles – The phenomenon of range anxiety*. External document. June 2011. <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/5/249105/080/deliverables/001-ThephenomenonofrangeanxietyELVIRE.pdf>, accessed on 2016-03-25.
- [5] Youtube movie showing Husky and Fuelmatics Automatic Refueling System. Published on the 13 of October 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=0bZ2u5UnApA>, accessed on 2016-03-25.
- [6] Youtube movie showing Tesla's prototype snakelike charger. News shown first time 6 August 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=uMM0IRfX6YI>, accessed on 2016-03-25.
- [7] Conductive wireless charging, https://en.wikipedia.org/wiki/Conductive_wireless_charging, accessed on 2016-03-25.
- [8] Inductive charging, https://en.wikipedia.org/wiki/Inductive_charging, accessed on 2016-03-25.
- [9] Kurs, A., Aristeidis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J.D., Fisher, P., Soljačić, M. *Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances*. Science 06 Jul 2007, Vol. 317, Issue 5834, pp. 83-86. <http://science.sciencemag.org/content/sci/317/5834/83.full.pdf>
- [10] The Wich project web site, www.viktoria.se/projects/wich, accessed on 2016-03-25.
- [11] Evatran and Swedish Agencies to Install PLUGLESS Systems across Sweden. <http://evnewsreport.com/tag/evatran/>, accessed on 2016-03-25.
- [12] BMW Group is pressing ahead with the development of systems for inductive charging of electric and plug-in hybrid cars, <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0186710EN/bmw-group-is-pressing-ahead-with-the-development-of-systems-for-inductive-charging-of-electric-and#>, accessed on 2016-03-25.
- [13] Fast charging and Audi wireless charging, <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audi-future-performance-days-2015-5097/fast-charging-and-audi-wireless-charging-5102>, accessed on 2016-03-25.
- [14] Andersson, J., Nilsson, M., Pettersson, S. *Introducing wireless charging for drivers of electrical vehicles in Sweden – effects on charging behaviour and attitudes*. In proceedings of AHFE2016 affiliated conferences.
- [15] Hermansson, F., Axelsson, L., Granström, R. *Experiences from Data Collection in Living Labs - The Swedish National database for Car Movements*. EVS29 Symposium, Montréal, Québec, Canada, June 19-22, 2016.
- [16] Alfredsson, J., Fernandez, L. *Development of a measuring system for parking position*. Master's Thesis in Complex Adaptive Systems, Chalmers University of Technology and University of Gothenburg, 2014.

Authors



Stefan Pettersson has a M.Sc. in Automation Engineering and a Ph.D. in Control Engineering and became an Associate Professor in Control Engineering at Chalmers University in 2004. During 2006-2009 Stefan worked in the automotive industry at Volvo Technology. Currently, he is the Research Manager in Electromobility at Viktoria Swedish ICT responsible for all projects in this area.



Jonas Andersson is a human factors engineer and a senior researcher within the Cooperative systems research group at Viktoria Swedish ICT. He holds a Ph.D. in human-automation systems design from Chalmers University of Technology and a M.Sc. in Ergonomic design and production engineering from Luleå University of Technology, Sweden.



Tommy Fransson has a M.Sc. Applied Physics and Electronics from University of Linköping, Sweden. Tommy has worked in different project earlier at Ericsson and currently in his role as a researcher at Viktoria Swedish ICT.



Maria Klingegård (former Nilsson) is a senior researcher within the Cooperative systems research group at Viktoria Swedish ICT. She holds a Ph.D. in Information Technology from Örebro University, Sweden and a M.Sc. in Human Computer Interaction with Ergonomics from University Collage of London, England.



Johan Wedlin has a long experience from the automotive industry both from Volvo Car Corporation and Volvo Trucks. Currently, Johan is a Business developer and project leader at Viktoria Swedish ICT. Johan is the project leader of the WiCh-project.



Bilaga 3

Publikationen:

J. Andersson, M. Nilsson, S. Pettersson: Introducing wireless charging for drivers of electrical vehicles in Sweden – effects on charging behaviour and attitudes, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Orlando 2016

Introducing wireless charging for drivers of electrical vehicles in Sweden – effects on charging behaviour and attitudes

Jonas Andersson, Maria Nilsson, Stefan Pettersson

Viktoria Swedish ICT
Lindholmspiren 3A, SE-417 56, Göteborg, Sweden
{jonas.andersson, maria.nilsson, stefan.pettersson}@viktoria.se

Abstract. This paper reports on a Swedish large-scale research and demonstration study of wireless charging of electric vehicles. The study is the first of its kind outside North America. The purpose of the 18-month study was to test the technology during real life working conditions using 20 electric vehicles located at eight municipality and company sites in Sweden. The study indicates that the charging behaviour will most likely be different with inductive charging. There are clear benefits of inductive charging that have the potential to increase the attractiveness of electric vehicles, and there are no substantial evidence that perceived safety should hinder a wider adoption of inductive charging. Further, we conclude that the usability of the technology can have a high impact on perceived attractiveness, and should therefore be of focus in future developments of the technology.

Keywords: Inductive charging · Electric vehicles · Demonstration · User study · Attitudes

1 Introduction

Electrical vehicles have the potential to decrease our fossil dependency. However, to fulfil that vision electrical vehicles have to become wide spread. Factors such as range anxiety [1-2], grid overload (cf. [3]), (cumbersome) charging process [4-5], among others, have the potential to become barriers that may hinder this development. Wireless (inductive) charging is a new technology that may overcome many of these identified issues by eliminating the cord [6]. However, large-scale field trials are yet to be seen. Previous studies have typically been performed in laboratory settings.

Hence, this paper reports on a Swedish large-scale research and demonstration trial of inductive wireless charging project called WiCh - Wireless Charging of electric vehicles (www.wich.se), see [7] for further information. The study is financed by the Swedish Energy Agency together with the project partners. This is the first study of its kind outside North America [8]. The overall goal of the study was to demonstrate and test the technology during real life setting in Swedish conditions (e.g., cold and snow), to explore the pros and cons in practical use of inductive charging. Another

aim was to study the drivers' attitudes towards using inductive charging for operating the electric vehicle in their daily working context. In total, inductive wireless charging technology, provided by Plugless Power (www.pluglesspower.com), was installed in 20 vehicles located at eight sites in Sweden, to be used during an 18-month period. Employees in the public sector were to use the vehicles in their daily work, except one (private).

Of interest in the study was to examine whether or not the practicalities of not dealing with a cord would make electrical vehicles more attractive. Franke and Krems' [4] show that 87% of the drivers agreed that charging was easy. Although they report: "However, several users (57%) reported that handling the charging cable was cumbersome". That is, even though the authors' conclude that charging was not a major barrier for users in this study, the cumbersome cord is noted. In addition, it has been shown that the cord can become stiff, especially in cold weather [9], which may influence the attractiveness of electrical vehicles. It was of further interest to examine the potential change in charging behaviour when introducing inductive wireless technology. Studies have highlighted that wireless charging has the potential to solve some grid issues [3]; e.g., the vehicles has the potential to be charged more often but for less time. However, what the drivers, who are to implement these effects of inductive charging, think of the technology is yet to be revealed. Previous studies have shown that electric vehicle drivers adopt their charging behaviour to the environmental and structural setting they exist in [1], e.g., most drivers are likely to charge their vehicles over night (as they do not use the vehicles then) and does not see a problem with e.g., the length of charging.

Hence, the purpose of the research is to explore whether inductive charging actually has the advantages that can further promote electric vehicles as an alternative to fossil fuelled vehicle. In this paper, the first results from the study are presented.

2 Method

The study was carried out in two stages, as a comparative before (Stage1) and after study (Stage 2), to explore change in attitudes towards practical use, attractiveness and perceived safety when introducing wireless charging. The data collection consisted of interviews and digital surveys as well as vehicle loggers. Stage 1 of the study involved capturing current attitudes and experiences of using electrical vehicles charged with cord. Stage 2 involved capturing the experience of using electrical vehicles with the wireless charging technology installed. So far, the collected data consists of sixteen interviews (before introduction of inductive charging, and after six months of use), approximately 200 survey responses, and logged driving and charging data from the 20 vehicles. In this paper, results from the first three digital surveys are presented. Further statistical analyses are yet to be presented.

2.1 Research questions

The main research objective of the WiCh-project is to answer the question if inductive charging changes the charging behaviour of the users. That is, the following questions are addressed: (1) Does inductive charging change charging behaviour? (2) Does

inductive charging make electric vehicles more attractive compared to charging with cable? (3) Does perceived safety hinder use of inductive charging? In this paper, initial results on all three questions are presented. Further statistical analyses are yet to be presented.

2.2 Study Setting

Within the WiCh-project 20 vehicles has been equipped with inductive wireless charging technology supplied by Plugless Power (www.plugglesspower.com) [7].

More specifically, the wireless inductive technique uses strongly coupled magnetic resonance that enables high-energy transfer over large distances [10]. The charging equipment is made up by two different units, a sender placed in the ground at a parking space and a collector mounted underneath the vehicle. A coil in the sender generates a magnetic field that induces an electric current in a coil in the collector. The induced current is then used to charge the battery in the car. To get high efficiency the frequencies of the sender and the collector must be coupled. This, so called resonant coupling, occurs when the natural frequencies of the two units are approximately the same. When this happens the two units can exchange energy through their oscillating magnetic fields, without losing too much energy to the surroundings [10].

The vehicles equipped with the technology are distributed over 8 different sites in the south of Sweden, in the cities of Stockholm, Uppsala and Göteborg. The vehicles, are used in daily operations for transportation purposes by municipality representatives (except one vehicle, which is used by a private user). The representatives uses the vehicles in their ordinary (official) travel typically performed during office hours. The sites (except the private user) have all a history of using electric vehicles, typically more than 12 months experience. The majority of the vehicles are parked in a garage but other parking facilities include carport and enclosed car park with no weather shelter. The electric vehicles that are being used in the study are Nissan Leaf and Chevrolet Volt. The sites have access to one or more vehicles and are typically set up as a carpool accessible via a booking system. Two sites have dedicated drivers for the equipped electric vehicles. The vehicles are typically used several times a week. At some sites, the vehicles are used one or more times every (working) day. The typical length of a journey is about 20 km.

2.3 Survey design

The surveys contained twenty questions in total regarding user background, vehicle use patterns, charging pattern, and attitudes towards charging of electric vehicles. After completing the user-, vehicle use-, and charging profile questions, the respondents performed ratings on a six grade Likert-scale, combined with free text comments to capture opinions and attitudes towards charging electric vehicles. Finally, the respondents could leave free text opinions about the survey. The survey design was adapted not to exceed a response time of about ten to fifteen minutes. The surveys were designed using the Survey Monkey® online tool and were distributed via e-mail to the participants. Before receiving the e-mail, prospective participants were informed of the study by the researchers and gave their consent to participate. Alterna-

tively, the participants were contacted by a representative from their own organisation who distributed the survey link.

The first survey was distributed to the end users in May 2015 to capture their attitudes to charging (with cord) and electrical vehicles in general (Stage 1). The second survey was distributed approximately two months after installation to capture initial experience of using the new technology, and the third survey about four months after installation of inductive charging. A fourth questionnaire is planned to be sent out at the end of the test period. For number of respondents of each survey, see Table 1.

2.4 Participants

All participants came from the project partner organisations within WiCh. The age distribution was 26 to 76+ years for all three surveys and the main part of respondents were between 36 and 55 years of age. The main part of the users can be considered as experienced electrical vehicle (EV) drivers (Table 1), and they use the vehicles regularly in their daily work tasks.

Table 1. Number of respondents, gender distribution and experience of EVs.

	Q1: Cable	Q2: Induction 1	Q3: Induction 2
Number of resp.	65	56	44
Male / Female (%)	65/35	59/41	63/37
Experience of EVs			
0-6 months (%)	20	18	13
6-12 months (%)	18	8	13
>12 months (%)	62	74	74

The number of responses differed between the participating organisations. The distribution of responses from each site was roughly 5-15% of total responses with one deviating organisation with much higher (35-55% of total) response rate for the three surveys.

3 Results and Analysis

The results are analysed and presented graphically together with qualitative assessments of text answers. For presentation purposes, and first assessment, the responses from the six grade Likert-scales (e.g. “entirely positive” to “entirely negative”) used in the survey have been divided into e.g. positive/negative side as presented in the diagrams in the results section. The selected survey results presented in this paper address the emerged charging pattern of inductive charging, the attractiveness of electrical vehicles, and perceived safety of charging electrical vehicles, before and after the introduction of inductive charging.

3.1 Emerging charging behaviour

The usability of the charging equipment is perceived as slightly poorer compared to charging with cable, and was further reduced at the time of the third survey (Fig. 1.). The negative ratings increased in correspondence to the drop on the positive side. With cable charging, 90% of the respondents were positive towards the charging procedure (Fig. 2). After introduction of inductive charging, the number of positive respondents was reduced to 72%, followed by a drop to 64% after four months of inductive charging use. The users without opinion in the question were about 4% in all three surveys. A qualitative analysis of the free text answers indicates that the drop in perceived usability is related to difficulties of parking correctly over the charging pad. The experience of having to make several attempts to park the car correctly seems to cause annoyance affecting the answers.

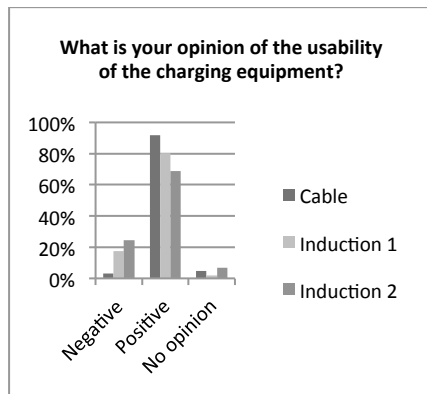


Fig. 1. Perceived usability

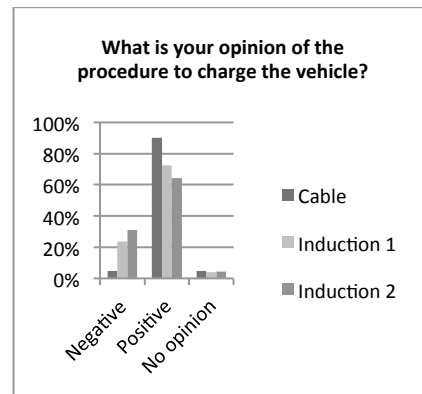


Fig. 2. Charging procedure

This is further highlighted by the change in opinions related to the time it takes to handle the charging equipment (Fig. 3), showing a drop in positive responses with inductive charging. It is noteworthy that for cable charging about 80% of the respondents report that it takes 0-1 minute to start the charging. For inductive charging the same figure are approximately 50% of respondents, while the remaining part says it takes 2-10 minutes to get the inductive charging started.

The minimum parking time to feel motivated to start the charging (Fig. 4) was however judged to be lower when using inductive technology. This despite the decreasing rate of positive answers regarding the time it takes to perform the charging procedure.

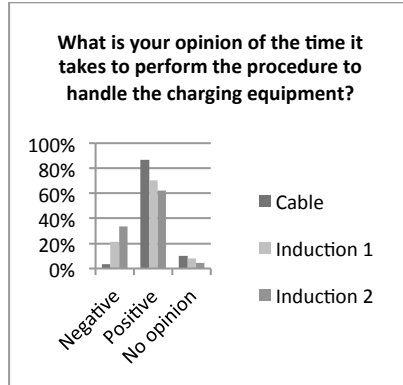


Fig. 3. Time to perform charging procedure

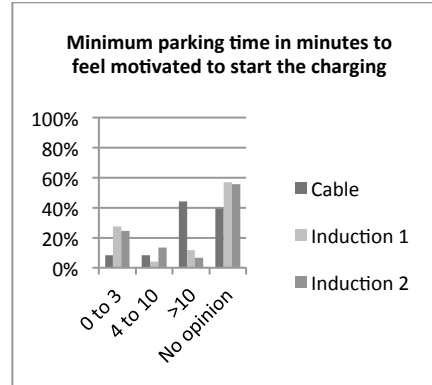


Fig. 4. Minimum parking time to feel motivated to start charging

Also, on the multiple-choice question “*At the following occasions I have not started the charging despite available charging*”, the alternative “*The car is parked too short period of time*” dropped from 36% (Cable) to 3% and 8% for inductive charging indicating that the parking time becomes less of an issue with induction when deciding to start charging or not. The inductive charging thus seem to have a potential of leading to more charging occasions, if used in a working context with many short stops (and available inductive charging at stop locations).

3.2 Perceived attractiveness

In addition, we were interested in if electric vehicles become more attractive when using inductive charging. On the question if the electric vehicle is an attractive mode of transport the positive answers increased from 75% to 88% after introduction of inductive charging (Fig. 5). This figure dropped to 68% after having used the technology for four months. Thus, the first impression of inductive charging seems very positive but due to technical issues it did unfortunately not meet the expectations of the users. In the written comments the respondents have positive things to say about the technology as such, although, they are not satisfied with the implementation at their specific workplace. Briefly said, the technology is good when it works but there are room for improvements. On the question of preferred mode of charging, the preference for cable charging is almost unchanged between surveys two and three (Figure 6). The preference for inductive charging dropped from 49% to 34% between surveys, while the indifference alternative increased slightly.

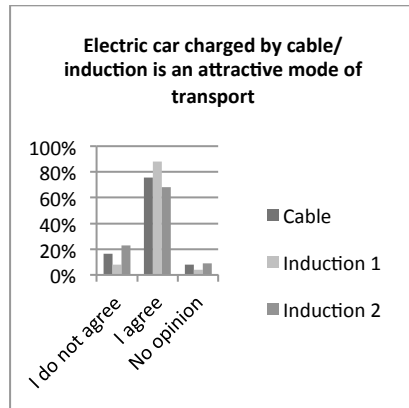


Fig. 5. Attractive mode of transport

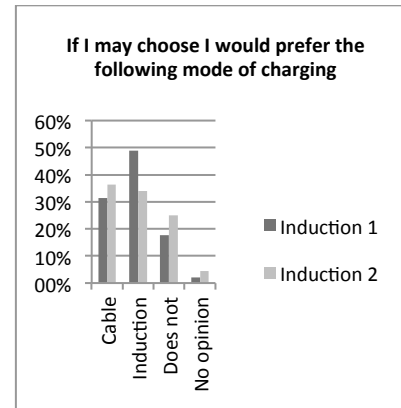


Fig. 6. Preferred mode of charging

An interesting finding is that despite the perceived problems with the charging equipment, users still maintain the positive attitude toward electric vehicles in general. The question on experience of using electric vehicles showed a slide towards increasingly positive responses after having used the inductive charging for four months (Fig. 7).

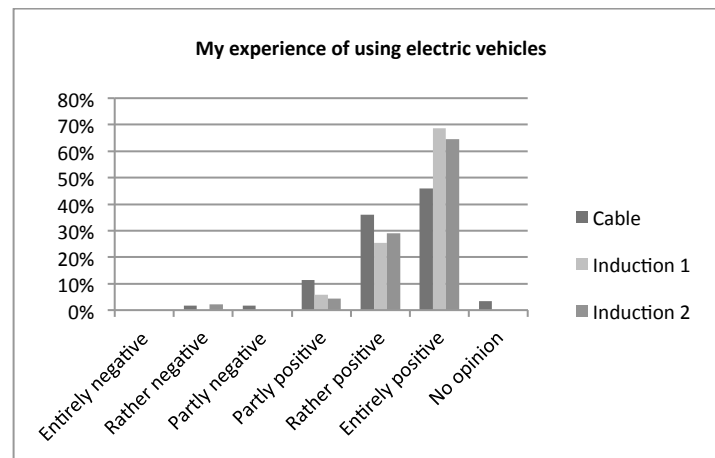


Fig. 7. Experience of using electric vehicles

At this point it is however difficult to say what has caused the shift. It could be societal factors lying outside the scope of the project to study. When looking at the free text responses, one reoccurring comment is however that inductive charging is more convenient since you don't need to handle the (at times dirty) cable. Examples of quotes are: *"It is more convenient than charging with cable and there is no risk of forgetting to connect the cable..."*; *"Good to get rid of the socket and cable"*; *"Nice to avoid handling a cable that easily becomes dirty..."*. Getting rid of the cable seems to contribute to the positive experiences. The quote *"Inductive charging, as such, is good..."* also indicates that it could be the case that the users separate the concept and

idea of inductive charging from their own implementation. Some of the participants seem to like the new technology despite it hasn't worked optimally at their specific location.

3.3 Perceived safety

One concern with inductive charging is the perceived safety. The survey results show that the positive opinion drops over time, similarly to the dimension of practical use (Figure 8.). However, the negative side does not increase accordingly. Instead the opinions seem to have shifted to "No opinion". An explanation for this could be that the safety aspects regarding electro-magnetic radiation from the inductive chargers are difficult to assess as an individual user. The radiation is invisible and less tangible and it is impossible to know if you are being exposed while starting or stopping the charging, which might be a source of anxiety.

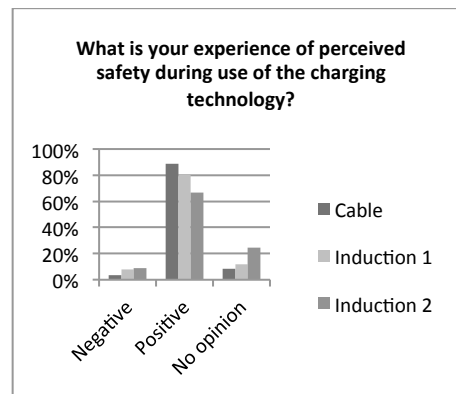


Fig. 8. Perceived safety of the charging technology

4 Discussion

The discussion attempts to answer our three main research questions. The main findings from the study are discussed.

4.1 Does inductive charging lead to a change in charging behaviour?

The results from surveys indicate that new charging patterns are likely to appear when introducing inductive charging. The drivers say that the parking time to motivate a start of charging is shorter compared to cable. Interestingly, when using inductive charging, the task of connecting the cable is replaced by the task of parking correctly over the charging pad (at least in the evaluated charging solution). Since the parking task will still be made, there should be a reduced effort required from the driver. However, the evaluated technology needs refinement for an optimal user experience helping the driver to hit the precise charging spot. (With future autonomous vehicles

or integrated automatic parking aid this issue might disappear.) Yet, our results show that the users think it is convenient to get rid of the cable, which promotes use of inductive charging. Combining these results tells us that there is a potential for an increased number of charging opportunities given that the charging infrastructure is present. This means that the charging behaviour will be different with inductive charging. Exactly how the charging behaviour will change is yet to be studied.

4.2 Does inductive charging make electric vehicles more attractive?

According to our results, the first impression of inductive charging seems to be perceived very positively. The technical problems in the project however caused the technology not to live up to the expectations of many of the drivers. Also, the difficulties of parking the car correctly over the inductive charger pad in the first attempt, with several attempts needed to find the exact spot for the charging to start, the perceived benefit of not having to handle the charging cable was very much reduced. The positive comments in the free text answers of the technology *as such* still points to a positive attitude although being discontent with the implementation. Other free text answers also points to perceived convenience of inductive charging, not having to handle the cable. The results as a whole points to the importance of a well designed driver-charger interaction where the evaluated solution has room for improvements. When the technology works, the drivers also see clear benefits of inductive charging which reasonably also makes the electric vehicle more attractive. As our study shows, poor interaction design can have the opposite effect.

4.3 Does inductive charging become hindered by perceived safety issues?

Despite the drop from the positive side of the perceived safety ratings, very few users have reverted to feeling more negative regarding their perceived safety. In general there is a predominance of positive ratings. Malfunctioning equipment could also add to the insecurity of if the equipment is safe or not, in other aspects than electromagnetic radiation. In the study, we have not seen any substantial evidence that perceived safety should be a hindrance for wider adoption of inductive charging. However, the case could be different for home users where children and pets will be closer to the charging equipment.

5 Conclusions

To summarise, we found the following initial answers to our three research questions: (1) the charging behaviour will most likely be different with inductive charging, (2) there are clear benefits of inductive charging that have the potential to increase the attractiveness of electric vehicles, and (3) we have not seen any substantial evidence that perceived safety should be a hindrance for wider adoption of inductive charging. Further, poor interaction design can have a high impact on perceived attractiveness. Indeed, this far in the demonstration project, the evaluations shows that the tested inductive charging technology has potential to provide an easier way of charging, and

hence, never having to “re-fuel” the vehicle. According to the surveys, the most difficult thing, compared to charging with cord, is to park correctly over the charging pad on the first attempt. Due to the placement of the charging pad at the rear of the vehicle, exact positioning can be difficult. However, the tested equipment still seems somewhat immature to provide an optimal user experience.

It has been evident that the technical problems with the surrounding equipment (e.g. malfunctioning ground circuit breakers, parking difficulties, charging of 12V batteries) affected the attitudes towards the inductive charging in a negative way. In addition, it should be noted that the conclusions made here are drawn from a study with professional drivers, not private drivers using the vehicle in their home context. The findings are probably not valid for home users since it can be expected that charging behaviours and attitudes will change with the context of use.

Further statistical analysis are yet to be performed that include the forth questionnaire.

6 Acknowledgements

Participating organisations in the WiCh project are (in alphabetic order); City of Stockholm Environment and Health Administration, Göteborgs Gatu AB (Gatubolaget), Viktoria Swedish ICT, Swedish Radiation Safety Authority, Test Site Sweden and Vattenfall. The project granted by the Swedish Energy Agency.

References

1. Nilsson, M.: Electrical vehicles: The phenomenon of Range Anxiety. Public deliverable Task (1300) ELVIRE Project (2011) Available at: http://www.elvire.eu/IMG/pdf/The_phenomenon_of_range_anxiety_ELVIRE.pdf
2. Nilsson, M.: Electric vehicles: An interview study investigating the phenomenon of range anxiety. Public deliverable Task (5000) ELVIRE project (2011) Available at: http://www.elvire.eu/IMG/pdf/An_interview_studyinvestigating_the_phenomenon_of_range_anxiety_ELVIRE-2.pdf
3. US department of energy, Evaluating electric vehicle charging impacts and consumer charging behaviours- experience from six smart grid investment grant projects. Available at: <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/12/f19/SGIG-EvaluatingEVcharging-Dec2014.pdf>
4. Franke, T., Krems, J.F.: Understanding charging behaviour of electric vehicle users. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 21, 75-89 (2013)
5. Nilsson, M., Habibovic, A.: Identifying EV drivers' needs for information communication technology to ease the EV charging process. In: Proceedings of Automotive UI 2013, Eindhoven, Netherlands, (2013) Available at: <http://www.auto-ui.org/13/>
6. Lukic, S., Pantic, Z.: Cutting the Cord: Static and Dynamic Inductive Wireless Charging of Electric Vehicles. IEEE Electrification Magazine, 1:1, 57--64 (2013)
7. Pettersson, S., Wedlin, J., Fransson, T., Andersson, J., Klingegård (f. Nilsson), M.: Large scale testing of wireless charging in Sweden. EVS29 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium (2016)

8. Evatran and Swedish Agencies to Install PLUGLESS Systems across Sweden. Available at: <http://sustainablerace.com/evatran-and-swedish-agencies-to-install-plugless-systems-across-sweden/>
9. Nilsson, M.: Experience Electrical Vehicle The case of Fast Charging. Public deliverable North Sea region Electric Mobility Network (2012) Available at: http://archive.northsearegion.eu/files/repository/20130716113709_FastCharge_Pilot_experiences.pdf
10. Wich- wireless charging description, <http://www.wich.se/worth-to-know/>