

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Ett elsystem för elfordon	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska A Power System for Electric Vehicles	
Universitet/högskola/företag Energiforsk AB	Avdelning/institution N/A
Adress Olof Palmes gata 11, 111 37 Stockholm	
Namn på projektledare Madelene Danielzon Larsson	
Namn på ev övriga projektdeltagare <ul style="list-style-type: none">• Peter Blomqvist och Emil Nyholm, Profu• Maria Taljegård, Therese Lundholm och Yuki Kobayashi, Chalmers tekniska högskola• Catarina Naucler, Filippa Telin, Yuri Joelsson, Monika Topel, Erica Lidström, Darijan Jelica, Sweco• Johanna Lakso och Johanna Barr, Power Circle• Jon Williamsson, Gabriela Schaad och Anders Sandoff, Handelshögskolan vid Göteborgs universitet	
Nyckelord: 5-7 st Laddinfrastruktur, elektrifierad fordonsflotta, laddstrategier, vehicle-to-grid, elnät	

Förord

Forskningsprojektet Ett elsystem för elfordon har haft som syfte att ta ett helhetsgrepp om den förväntade elektrifieringen av fordonsflottan och dess inverkan på elsystemet. Både på nationell och EU-nivå finns mål att göra transportsektorn oberoende av fossilt bränsle, och detta innebär en omställning som erbjuder både möjligheter och utmaningar. I denna slutrapport från projektet redovisas nyckelresultaten från projektets fem arbetspaket.

Projektet har letts av Energiforsk tillsammans med konsulter och forskare från Chalmers tekniska högskola, Handelshögskolan i Göteborg, Power Circle, Profu och Sweco. Samtliga utförare har bidragit med värdefull feedback och information inom och mellan arbetspaket. Även programmets styrgrupp har varit delaktiga med inspel och kommentarer på de resultat som producerats från projektets forskningsaktiviteter. I styrgruppen har finansierande organisationer ingått vilka är: Energimyndigheten, Svenska kraftnät, Ellevio, Elinorr, Krafringen, Region Skåne, Öresundskraft, Göteborg energi, Skellefteå kraft, Tekniska verken, Energiföretagen Sverige, Jönköping energi, Transportföretagen, Volkswagen, Checkwatt, Umeå energi elnät, Volvo Cars, Luleå Energi, Mölndal energi, Nässjö Affärsverk Elnät AB, Oxelösund energi, Skövde energi, Södra Hallands kraft, Trollhättan energi, DEFA, Karlstads el och stadsnät, Kraftthem, Siemens, Batteryloop och Einride.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary.....	4
Inledning/Bakgrund.....	5
Genomförande.....	7
Resultat	8
Arbetspaket 1 - Långsiktiga scenarier för introduktion av elfordon	8
Arbetspaket 2 - Kartläggning av elfordon, laddinfrastruktur, och elnät.....	10
Arbetspaket 3 – Påverkan på elsystemet och elnätet.....	12
Arbetspaket 4 – Åtgärder och lösningar för att frigöra eller utöka nätkapacitet	16
Arbetspaket 4.3 - Affärsmodeller för laddinfrastruktur.....	18
Arbetspaket 5 – Syntes och fallstudie Skövde lokalnät.....	21
Fallstudie för Skövde Energi Elnäts nätområde	21
Syntes och rekommendationer	24
Diskussion.....	30
Publikationslista	32
Referenser, källor	32
Bilagor	33

Sammanfattning

Senast 2030 ska Sveriges klimatpåverkande utsläpp från inrikes transporter på land och till sjöss minska med minst 70% jämfört med 2010, för att 2045 inte ha några nettoutsläpp. Omställningen innebär en kraftfull elektrifiering av transport samtidigt som elektrifiering av andra sektorer och utbyggnad av mer förnybar elproduktion ska tillgodoses. Ambitionen med projektet har varit att undersöka hur en storskalig elektrifiering av fordonsflottan kan möjliggöras. Fokus har varit på samspelet mellan laddinfrastruktur, elsystem och elnät och analyser har gjorts ur ett nationellt, regionalt och lokalt perspektiv.

De scenarier för etablering av elektriska fordon, som tagits fram inom projektet, visar att elektrifieringen av flottan sannolikt kommer fortsätta gå snabbt. Vad som påverkar takten är i stor utsträckning de policybeslut som tas inom EU och i Sverige. Till år 2045 bedöms elfordon stå för ett årligt elbehov om ca 30TWh. Om dessa elfordon i stor utsträckning laddar oplanerat skapas effekttoppar och ökar behovet av flexibilitet i elsystemet som exempelvis vätgaslager, vattenkraft, värmelager och stationära batterier. Nya analyser från projektet har däremot kvantifierat och visat på potentialen för elbilar att bidra med flexibilitet för att balansera systemet. I projektet har man analyserat påverkan på nätet utifrån dagens överföringskapacitet där resultaten pekar på att det finns stor potential att resurseffektivt utnyttja nätet. Med en laddstrategi där elbilsägare styr sin laddning mot både ett lågt elpris och en lokal nättariff skapas potential för flexibilitet i elsystemet och minskar behovet av investeringar i annan lagringskapacitet, så som vätgaslager. En prisoptimerad laddning sänker systemkostnaden med 10% och med 20% i kombination med vehicle-2-grid (V2G). Man har även visat att investeringar i vind- och solkraft är kostnadsoptimalt oavsett laddstrategi.

I projektet har 8 av 10 elbilsägare uppgett att de är villiga att göra sina batterier tillgängliga som flexibilitetsresurs mot ekonomisk ersättning. Intervjuresultat visar även att efterfrågan på V2G ökar hos elbilsägare. Detta kopplas främst till elprisvolatilitet, resiliens och teknikframsteg. Höga elpriser har bidragit till ökad vilja att ta kontroll över elkostnaderna där även energilagring ses som ett sätt att kostnadsoptimera energiförsörjningen. Det behöver dock tas fram praktiska lösningar för att styra och koordinera laddningen för att inte skapa nya effekttoppar i nätet. De tillämpningar av V2G som vi ser i idag är småskalig och det är först vid storskalig implementering som fördelarna uppnås. I vilken utsträckning potentialen förverkligas beror på batterikapacitet, kommersialisering av V2G teknik, körmönster och acceptansnivå hos elbilsägarna. Dessutom konkurrerar elbilarna med stationära batterier att leverera tjänster till elsystemet, vilket leder till en konkurrenssituation där stationära batterier har övertaget med ökad tillgänglighet. Projektet föreslår ett stort antal åtgärder där många kan genomföras parallellt, vilket är nödvändigt för att utvecklingen inte ska bli ineffektiv. Marknadsaktörer som intervjuats och deltagit på workshops efterfrågar en nationell koordinering för att klara av detta, där Energimyndigheten föreslås bli nationell samordnare för laddinfrastruktur. En plattform för kunskapspridning och koordinering bör vara centralt i detta.

Summary

By 2030, Sweden's climate-impacting emissions from domestic transport on land and sea must reduce by at least 70% compared with 2010, with no net emissions by 2045. The transition entails a significant electrification of transport while at the same time accommodating the electrification of other sectors and the expansion of renewable energy production. The ambition of the project has been to investigate how a large-scale electrification of the vehicle fleet can be achieved. The focus was on the interaction between the charging infrastructure, power system, and power grid and analyses have been made from national, regional, and local perspectives.

The scenarios developed for electric vehicle (EV) market penetration show that the electrification of the fleet will probably continue to be rapid. What affects the pace is mainly policy decisions taken in the EU and in Sweden. By 2045, electric vehicles are expected to account for an annual electricity demand of about 30TWh. If these EVs charge unplanned, peak loads are created increasing the need for flexibility in the power system, such as hydrogen storage, hydropower, heat storage and stationary batteries. However, new analyses from the project have demonstrated the potential for EVs to provide flexibility to balance the system. The project has analysed the impact on the grid based on current transmission capacity, and the results indicate that there is great potential for resource-efficient use of the grid. A charging strategy, where EV owners steer their charging towards both a low electricity price and a local grid tariff, creates potential for flexibility in the electricity system and reduces the need for investments in other storage capacity, such as hydrogen storage. Price-optimised charging reduces system costs by 10% and by 20% in combination with vehicle-2-grid (V2G). It has also been shown that investments in wind and solar power are cost-optimal regardless of the charging strategy.

In the project, 8 out of 10 EV owners have stated that they are willing to make their batteries available as a flexibility resource, given monetary compensation. Interview results also show that the demand for V2G is increasing among EV owners. This is mainly linked to electricity price volatility, resilience, and technology advances. High electricity prices have contributed to an increased willingness to take control of electricity costs, where energy storage is also seen as a means to cost-optimize. However, practical solutions need to be developed to control and coordinate charging so as not to create new peak loads in the grid. The applications of V2G that we see today are small-scale and it is only in large-scale implementation that benefits will be realised. The extent to which the potential is realised depends on battery capacity, commercialisation of V2G technology, driving patterns and the level of acceptance among electric car owners. In addition, EVs compete with stationary batteries to deliver services to the electricity system, leading to a competitive situation where stationary batteries have the upper hand due to increased availability. The project proposes many measures, many of which can be implemented in parallel, which is necessary to avoid inefficient development. Market players who have been interviewed and participated in workshops call for national coordination to manage this, the

Swedish Energy Agency is proposed to become the national coordinator for charging infrastructure. A platform for knowledge dissemination and coordination should be central in such a role.

Inledning/Bakgrund

Senast 2030 ska Sveriges klimatpåverkande utsläpp från inrikes transporter på land och till sjöss minska med minst 70% jämfört med 2010, för att 2045 inte ha några nettoutsläpp. I takt med att fler laddbara fordon tas i bruk för att möta våra klimatmål så måste parallellt laddinfrastrukturen på allmänna platser, privata parkeringsplatser och i hemmen byggas ut. En elektrifierad transportsektor kommer att leda till en väsentligt ökad elanvändning. Det leder i sin tur till att mer el behöver produceras och transporteras i elnätet till rätt geografisk lokalisering och vid rätt tidpunkt. Införandet av laddinfrastruktur för storskalig elektrifiering av fordonsflottan i Sverige kan därför komma att ställa nya och utökade krav på elnätets tillgänglighet och funktion.

Parallellt med elektrifieringen av fordonsflottan byggs vindkraften ut i rekordsnabb takt främst i norra Sverige och kärnkraftsreaktorer har stängts ned i södra Sverige. Nya elkrävande industrier etablerar sig och befintliga industrier har stora planer för att ställa om sina processer till att bli mer klimatvänliga via direkt eller indirekt elektrifiering. Samtidigt står Sveriges elnät inför ett enormt reinvesteringsbehov. Denna utveckling innebär stora förändringar för det elsystem som vi känner till idag, där den överkapacitet som vi tidigare har varit vana vid i elnäten övergår till kapacitetsbrist samtidigt som det inte längre tycks lika självklart att vi kan räkna med att ha ett långsiktigt elöverskott i allmänhet och norra Sverige i synnerhet.

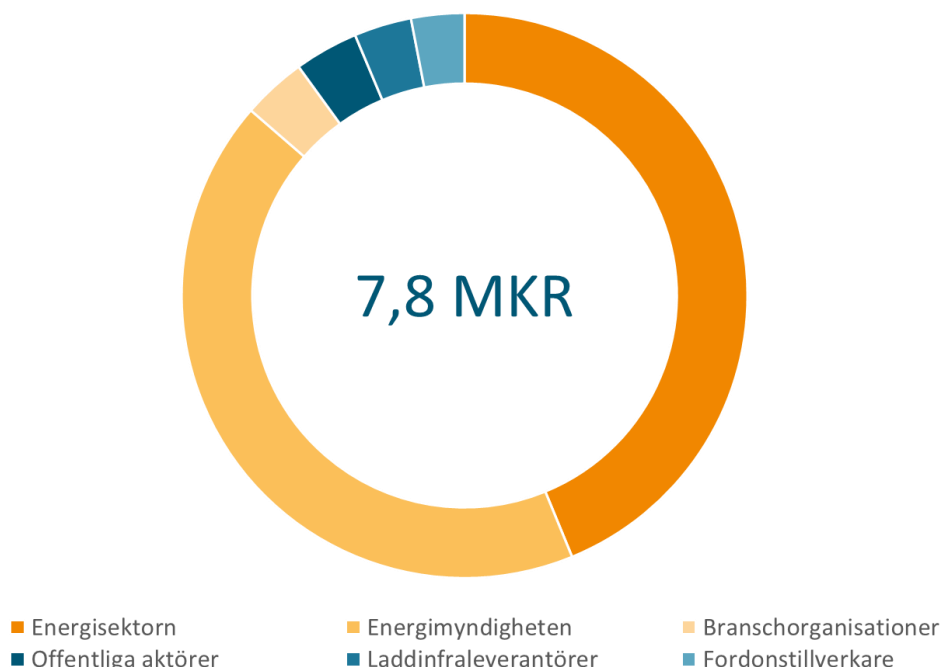
Underlag till projektet redovisade att omkring 40% av Sveriges elnätsbolag uppgett att de inte kommer att kunna ansluta den planerade mängden laddinfrastruktur till år 2030, pga. begränsningar i elnätet. Det var givet att en storskalig elektrifiering kommer att öka det totala effektbehovet, som utan smart styrning kan öka med flera tiotals GW under vissa tider. Det krävs alltså att kunna styra laddningen för att säkerställa systemstabiliteten och undvika överbelastning i elnätet. Man såg även att höga och intermittenta effektuttag från laddning av elfordon även kan påverka elkvalitet och spänningsreglering, vilket ställer ytterligare krav på koordinering och styrsystem. Projektets deltagare såg att smart styrning av laddning kan leda till stora ekonomiska besparingar genom att i närtid undvika kostsamma investeringar i nätförstärkningar.

I tidigare forskning inom området och i den politiska debatten hade man då främst fokuserat på utbyggnad av laddinfrastruktur och mindre på att säkerställa behovet av el och nätkapacitet för att möjliggöra laddningen. Betydelsen av projektet underströks även av den elektrifieringskommission som regeringen tillsatte hösten 2020 i syfte att påskynda elektrifieringen av fordonsflottan. Det initiativet belyste behov av fördjupade analyser som ser till helheten då ingen djupgående forskning eller analys förväntades att genomföras inom ramen för kommissionens arbete. Under åren som följde seglade effektfrågan allt högre upp på agendan och

resultaten från detta projekt bidrar med viktiga resultat för att förstå dynamiken mellan elektrifieringen av fordonsflottan och elsystemet.

Med denna bakgrund ville man ta ett helhetsgrepp kring frågan och undersöka hur en storskalig elektrifiering av fordonsflottan, med fokus på vägtransport, kan möjliggöras med fokus på samspelet mellan laddinfrastruktur, elsystem och elnät och analyser har gjorts ur ett nationellt, regionalt och lokalt perspektiv.

Tidsperspektivet sträckte sig till 2045 med nedslag 2030 för att säkerställa att de åtgärdsförslag som tas fram är i samklang med de klimatmålen. Energiforsk har varit huvudman för projektet som inleddes oktober 2021 och avslutade februari 2024 där forskare och konsulter från Chalmers tekniska högskola, Handelshögskolan i Göteborg, Power Circle, Profu och Sweco arbetat tillsammans inom fem arbetspaket. Projektet finansierades med en total omfattning av 7 800 000KR och möjliggjordes av Energimyndigheten och 29¹ engagerade företag se



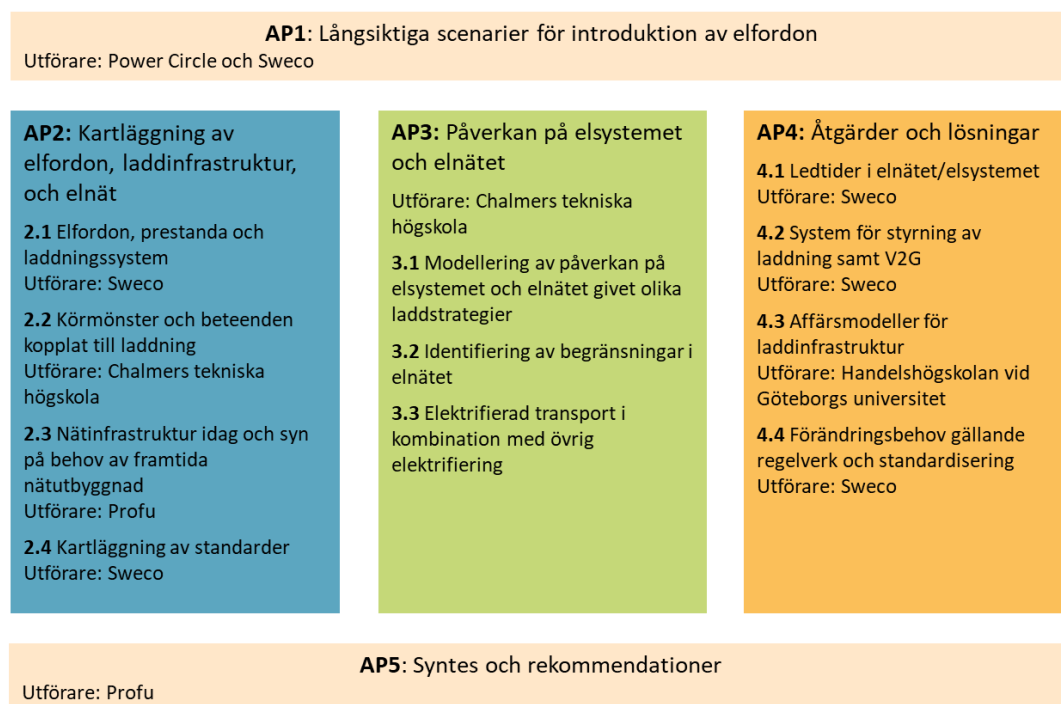
Figur 1.

Figur 1. Total omfattning av projektet och fördelning av finansiering mellan deltagande organisationer och företag.

¹ Batteryloop, Checkwatt, DEFA, Einride, Elinorr, Ellevio, Energiföretagen Sverige, Flower Infrastructure, Göteborg energi, Jönköping energi, Karlstads el och stadsnät, Krafringen, Luleå energi, Mölndal energi, Nässjö affärsverk elnät, Oxelösund energi, Region Skåne, Siemens, Skellefteå kraft, Skövde energi, Svenska kraftnät, Södra Hallands kraft, Tekniska verken i Linköping, Transportföretagen, Trollhättan energi, Umeå energi elnät, Volkswagen, Volvo Cars och Öresundskraft.

Genomförande

Som tydligt ovan togs som utgångspunkt för projektet att en elektrifiering av transportsektorn kräver utökad kapacitet i elnäten och smart laddning för att säkerställa elektrifieringen av fordonsflottan. Detta kräver i sin tur att det finns tekniska och flexibla lösningar, fungerande affärsmodeller och tillräckliga incitament hos de som ska bidra med lösningar. Denna utgångspunkt krävde att projektet utformades som ett multidisciplinärt forskningsprojekt samt formade de frågeställningar som undersöktes. Det lokala perspektivet blev i detta sammanhang väldigt viktigt och projektet omfattade därför även en fallstudie i Skövde lokalnät för att analysera det ökade effektbehovet från en elektrifierad transportsektor. En översikt av projektets fem arbetspaket (AP) och deras innehåll kan ses i Figur 2.



Figur 2. Projektöversikt och innehåll i arbetspaket.

I AP1 har prognoser tagits fram för elektrifieringen av fordonsflottan. Scenarierna för utvecklingen av transportsektorn har sedan använts i de andra arbetspaketen för att analysera effekterna. I AP2 gjordes sedan en kartläggning och nulägesbeskrivning av praktiska, tekniska, regulatoriska förutsättningar. Analysen av effekten på elnät och elsystem utfördes i AP3. Åtgärder och lösningar på eventuella problem som identifierats inom projektets aktiviteter formulerades sedan i AP4. Slutligen sammanfattades projektets aktiviteter och resultat i en syntes i AP5. I AP5 utfördes även fallstudien på Skövdes lokalnät för att illustrera effekterna av storskalig elektrifiering på effektbehovet.

För att göra detta utfördes litteraturstudier, enkäter, djupgående intervjuer och workshops för att utreda frågeställningarna. För att utveckla våra scenarier för

utveckling av antal elfordon på vägarna följdes processen som illustreras i Figur 3.



Figur 3. Beskrivning av metod för framtagning av nationella och regionala scenarier.

För att analysera effekterna på elsystem och elnät användes två olika modeller. **Multinode**, som är en investerings- och dispatchmodell för norra Europas elsystem, och **REGAL**, en helt unik modell utvecklad inom projektet för att analysera lågspänningsnätet i Sverige. Med hjälp av Multinode har forskare analyserat hur en omfattande elektrifiering av transportsektorn påverkar investering i elproduktion och lagringstekniker i Europas elsystem till år 2050. REGAL utvecklades för att undersöka vilka problem med överbelastade transformatorer, kablar och spänningsfall som kan tänkas uppstå givet olika scenarier för elbilsladdning och laddstrategier.

Resultaten som tagits fram inom projektet har kontinuerligt presenterats och diskuterats tillsammans med projektets styrgrupp, bestående av representanter från de företag som finansierat satsningen. Resultaten presenterades och utvecklades även i samband med workshops där en bred representation av olika typer av aktörer deltog för att bidra till projektets resultat och förankring.

Resultat

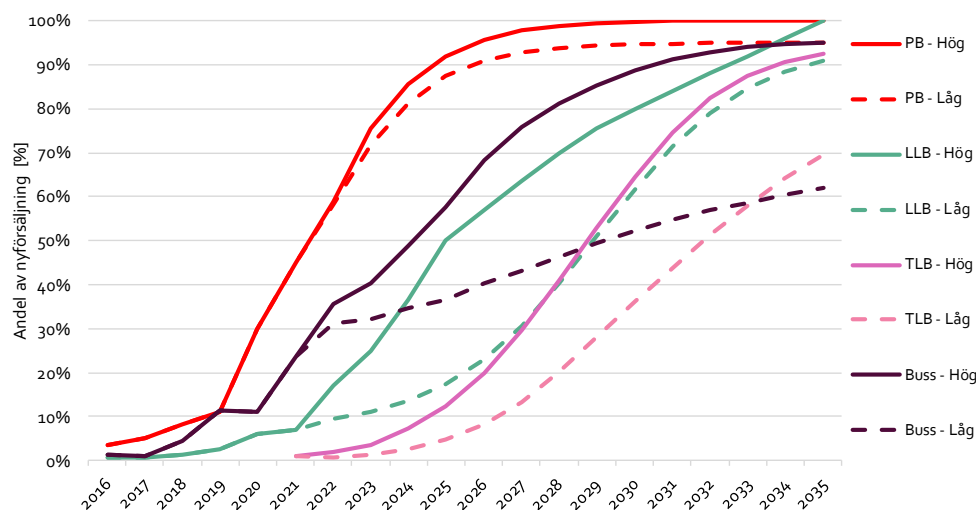
Arbetspaket 1 - Långsiktiga scenarier för introduktion av elfordon

Länk till rapport: [Energiforsk rapport 2022:899](#)

Utförare: Johanna Barr, tidigare Power Circle, och Monika Topel, tidigare Sweco

Den historiska trenden visar en tydlig exponentiell utveckling och scenarierna som tagits fram inom projektet pekar på att en majoritet av försäljningen av nya fordon år 2030 kan komma att vara eldrivna. Efter det att rapporten publicerades gjordes uppdateringar för att utvärdera huruvida utvecklingstakten följts som förväntat under projektiden. De uppdaterade scenarierna baserat på marknadsutvecklingen och förändrade politiska förhållanden resulterade i scenarierna i Figur 4. Bakomliggande drivkrafter för en positiv eller negativ

utveckling förblev däremot de samma. För att en utveckling i linje med de högscenarion som tagits fram ska vara möjlig behövs en fortsatt utbyggnad av laddinfrastrukturen och ett elnät som inte bromsar utvecklingen i form av brist på kapacitet eller långa ledtider för nyanslutningar. De lågscenarion som tagits fram illustrerar tydligt att de faktorer som negativt påverkar utvecklingstakten är brist på laddinfrastruktur, elnätskapacitet, tillgång till fordon eller förändrade regulatoriska förutsättningar. De tydligaste drivkrafterna som positivt påverkade dessa faktorer mot en ökad penetration av elfordon på marknaden var policy, teknikutveckling och konsumenters eller företags efterfrågan.



Figur 4. Elfordonens andel av nyregistreringar fram till 2040, Hög- och lågscenari för personbil (PB), lätt lastbil (LLB), tung lastbil (TLB) och buss. Källa: (Barr, o.a., 2022).

Den policy som var en viktig drivkraft för att uppnå högscenarierna var utsläppskraven som röstades igenom i EU-parlamentet sommaren 2022. Utvecklingen i högscenarierna stöds även av att flera stora fordonstillverkare satt mål för 100% eldrivna fordon i sin försäljning och att den svenska marknaden kommer behöva ligga i framkant för att nå de internationella målen.

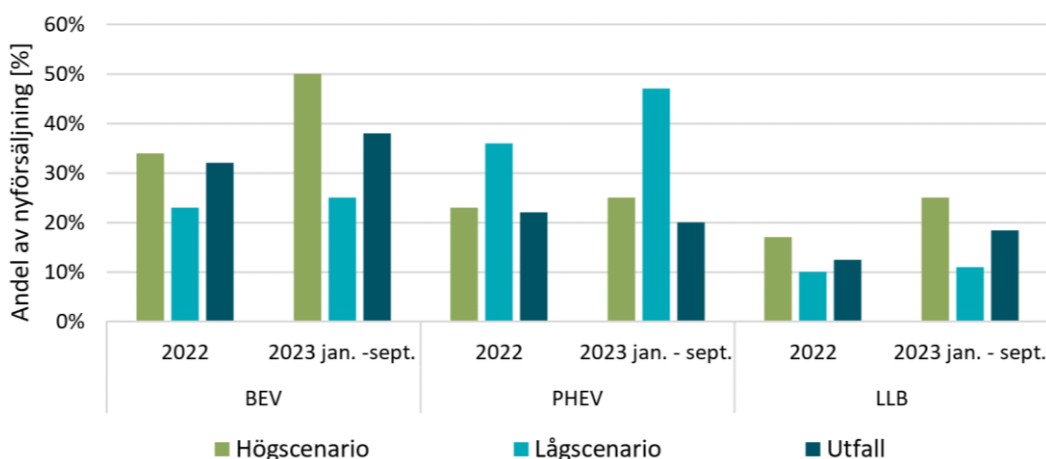
En viktig förutsättning för utvecklingen i högscenariot för lätta lastbilar är att undantaget för att framföra fordon upp till 4,25 ton med B-körkort införs inom kort. Inom de närmsta åren drivs utvecklingen främst av aktörer med stora fordonsflottor inom exempelvis handel, fastighetsservice och offentlig sektor. Elektrifieringen i den för fordonssegmentet viktiga byggsektorn förväntas ta fart ordentligt när prisparitet på inköpspris uppnås år 2025–2026.

Utvecklingen för tunga lastbilar drivs i det korta perspektivet av större transportköpare och åkerier som har ambitiösa hållbarhetsmål, samt att ändamålsenliga stöd till fordon och laddinfrastruktur fortsätter att ges tills ”total cost of ownership”-paritet uppnås. Bränslecellstekniken börjar ta marknadsandelar från de fjärtransporter och de tyngsta regionala transportererna från och med år 2030.

I högscenariot når elbussar drygt 90% av nyförsäljningen år 2030. Stadsbussar antas inom en snar framtid endast upphandlas med eldrift, baserat på både

kollektivtrafikbolagens och fordonstillverkarnas planer, samt lönsamheten i tekniken. Även regionbussar börjar elektrifieras nu. Att elbussar har låga lokala utsläpp och är bullerfria är minst lika viktiga drivkrafter som de ekonomiska aspekterna.

Sedan scenarierna togs fram under 2022 har flera viktiga förändringar skett och faktorer tillkommit som kan komma att påverka utvecklingen för elfordon åt ena eller andra hållet på både kort och lång sikt. En övergripande analys av utfallet 2023 visar, baserat på siffror t.om. oktober 2023, att nyregistreringarna av laddbara personbilar verkar hamna mellan hög och lågsceariot för BEV, medan andelen PHEV är lägre än i lågsceariot se Figur 5.



Figur 5. Utfall gällande nyregistreringar för 2023 i förhållande till hög- och lågsceariot.

Arbetspaket 2 - Kartläggning av elfordon, laddinfrastruktur, och elnät

Länk till rapport: [Energiforsk rapport 2022:898](#)

Länk till sammanställning av standarder: [Standarder för statisk laddning](#)

Utförare: Erica Lidström och Darijan Jelica, Sweco, Peter Blomqvist, Profu

Utvecklingen av antalet publika laddpunkter i Sverige ökade med flera hundra procent 2014 och 2022 då de uppgick till drygt 14 000 laddpunkter. För att se hur elnätsbolagen ser på utvecklingen och deras förmåga att möta förfrågningar på anslutning av laddpunkter till deras nät genomfördes inom projektet en enkätundersökning. Nätbolagens främsta metod för att främja elektrifieringen och motverka kapacitetsbrist har historiskt varit nätförstärkningar, vilket många respondenter ansåg vara utmanande både ekonomiskt och resursmässigt på grund av den förväntade omfattningen. Många av nätbolagen lyfte att det finns stora osäkerheter gällande de nya förbrukarnas placering och storlek, samt hur laddning av elfordon kommer att påverka den befintliga lastprofilen över dygnet. Därför efterfrågades en tydligare kommunicerad plan och förbättrad dialog om vart planerad och framtida elinfrastruktur förväntas placeras.

I projektet genomfördes även en intervjustudie med elnätsbolag om deras syn på elektrifiering av fordonsflottan som ett komplement till enkätstudien. Generellt

ansåg elnätsbolagen att elektrifiering är en viktig fråga där de vill vara en möjliggörare för utvecklingen. Flera var dock oroadе att effektbehovet kommer att öka så pass snabbt att det blir svårt att hinna ansluta alla enligt de önskemål som finns. Utmaningarna är flera och består exempelvis av långa ledtider för tillstånd, särskilt för regionnätet, brist på personal både med traditionella och nya nätskompetenser, brist på entreprenörer och material så som transformatorer, kabel och skarvar.

Det skiljde sig en del mellan elnätsbolagen gällande hur kritisk situationen ansågs vara, där en del har stor marginal i nätet medan de flesta har små marginaler och behöver göra många åtgärder på kort tid. Då tidsaspekten är avgörande eftersöktes snabba lösningar där flexibilitet sågs som den huvudsakliga. Detta omfattar främst förbrukningsflexibilitet i form av flexibilitet i användningen av elnätet. En sådan lösning skulle innebära en mer dynamisk syn på elnätets dimensioneringsvillkor och att fler skulle kunna anslutas. En utmaning anses vara att kapacitetsbrist i många fall endast uppstår ett fåtal timmar, vilket gör flexibilitet lämpligt men kan göra det svårt att få förtroende och lönsamhet från ett marknadsperspektiv då efterfrågan från nätbolagen att köpa flexibiliteten är låg sett över längre tidsperspektiv. Därför föreslås det att samverka och koordinering med andra marknader som har mer frekvent behov av flexibilitet (t ex stödtjänstmarknaden) bör stöttas.

Flexibilitet sågs dock av elnätsbolagen som svarade på enkäten främst som en tillfällig lösning fram tills man hunnit förstärka elnäten, även om de medgav att det behövs en viss grad av flexibilitet även på lång sikt. I regel bygger elnätsbolag ej ut nätet på spekulation, men tar hänsyn till troliga framtida laster och dimensionerar för dessa när nätet byggs ut. Det handlar om att planera utbyggnaden vilket anses bli svårare då det tillkommer ny elförbrukning där kunskapen är sämre rörande hur förbrukningen förväntas utvecklas. Initiativet med nätutvecklingsplaner välkomnades av bolagen då de hoppas att det ska bidra till bättre kommunikation med intressenter och därmed underlätta planeringen.

En andra enkät skickades ut till bland annat kommuner, regioner och leverantörer av laddinfrastruktur för att kartlägga hur de ser på den framtida utvecklingen och etableringen av laddinfrastruktur. I syfte att skapa en trygg omställning påpekades det att installation av laddinfrastruktur behöver takta med det ökande antalet laddbara fordon på vägarna. För att detta ska vara möjligt pekade enkätsvaren på att ökad nätkapacitet var viktigt för att främja arbetet. Även förkortade ledtider vid nätutbyggnad efterfrågades. En gemensam och heltäckande strategi för utbyggnad av laddinfrastruktur bör därför tas fram där både elnäts- och laddinfrastrukturperspektiven ryms.

Inom detta arbetspaket gjordes även en kartläggning av nuläget rörande rådande tekniska kapaciteter och betingelser i relation till elfordonens batterikapacitet, laddningskontakter, ombordladdare och laddstolpar samt V2G.

Arbetspaket 3 – Påverkan på elsystemet och elnätet

Rapporten inväntar publikation i vetenskaplig tidskrift och förväntas vara publikt tillgänglig juni 2024.

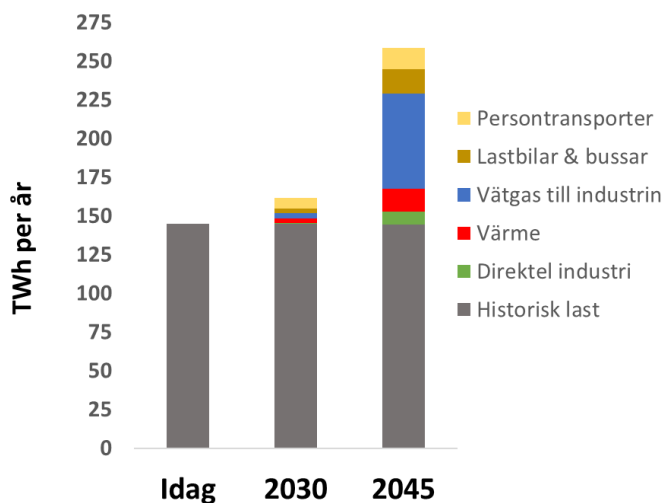
Utförare: Maria Taljegård, Therese Lundblad och Yuki Kobayashi, Chalmers Tekniska Högskola

I AP3 har modellerna Multinode och REGAL använts för att analysera hur elsystemet och elnätet påverkas på nationell, regional och lokal nivå av olika omfattningar av elektrifiering inom transportsektorn och av olika laddstrategier. I arbetspaketet har analyserats hur stor andel av transportsektorn som kan elektrifieras med utgångspunkt från dagens elsystem och elnät. För att åstadkomma detta har dagens kör- och laddmönster kartlagts för både personbilar och lastbilar. Forskare har analyserat när, hur och var fordonen behöver ladda utifrån tidigare insamlad och tillgänglig kör- och ladd-data. Under 2023 har även nya data samlats in från elbilar i Sverige och en unik databas av kör- och laddningsdata från 220 elbilar har skapats. Utifrån datan har laddprofiler tagits fram för individuella fordon och för den totala fordonsflottan över dygnet, givet olika scenarier för elektrifiering och laddstrategier. Laddprofilerna har sedan använts för att, med hjälp av modellering, analysera fordonsflottans påverkan på elsystemet och elnätet. För att undersöka hur elsystemets utveckling påverkas av hur elfordonsflottan laddas har fyra olika fall med laddstrategier för personbilar analyserats:

- Oplanerad laddning där elbilsägarna laddar sitt batteri fullt så fort de kommer hem.
- Prisoptimerad laddning där elbilsägarna laddar mot ett lågt elpris.
- Prisoptimerad laddning + V2G där elbilsägarna laddar mot ett lågt elpris men också kan återmata el till elnätet vid högt elpris.
- Prisoptimerad laddning + lokal elnätstariff där elbilsägarna laddar mot ett lågt elpris men där det också finns begränsning på tillgänglig laddeffekt vissa kritiska timmar i lokalnätet.

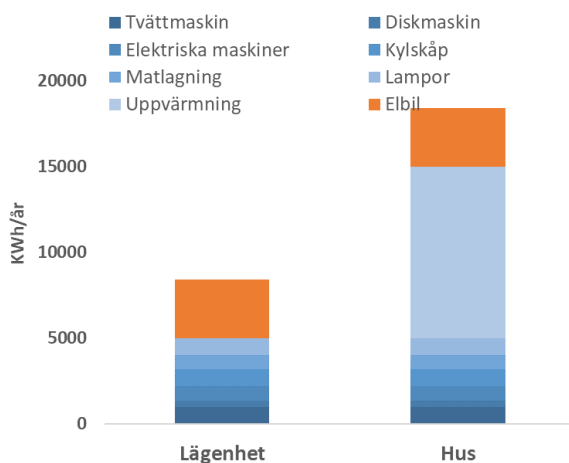
För att ta hänsyn till övriga utvecklingar i samhället kopplade till klimat- och energiomställningen har ett scenario använts som utgångsläge för modelleringen. I det scenariot antas elbehovet öka med 114TWh fram till 2045 (Göransson, 2023). Utav det elbehovet bedöms fordonsflottans elbehov uppgå till 30TWh per år, där det är antaget att både tunga transporter och persontransporter elektrifieras och står för ca hälften av energibehovet vardera, se

Figur 6. I närtid (2030) kommer alltså transportsektorn i detta scenario utgöra ca 6% av totala elbehovet medan på längre sikt (2045) ca 12% av det totala elbehovet.



Figur 6: Uppskattad årlig efterfrågan på el (TWh) i Sverige idag, år 2030 och 2045. Källa: (Taljegård, o.a., 2023).

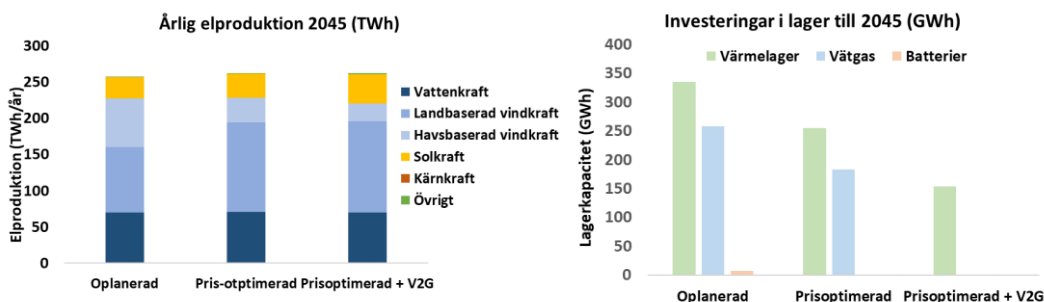
Forskarnas analys pekar på att en elektrifiering av personbilar kan komma att öka enskilda hushålls elkonsumtion med storleksordningen 20–50% främst beroende på boendeform, uppvärmningssystem och körsträcka. Laddning av elbilarna utgör därmed en stor del av hushållens elkonsumtion. En genomtänkt integrering av elbilar i det lokala elnätet blir därmed avgörande för att klara av en elektrifiering av persontransporter i närtid utan att kraftigt behöva förstärka elnätet.



Figur 7. Elförbrukning hos en genomsnittlig lägenhet och villa med elbil som körs 1300 mil/år med en energiförbrukning på 0.16 kWh/km. Övrig elkonsumtion är ett genomsnitt för ett hushåll baserat på data från EON.

De huvudsakliga slutsatserna från modellering av elsystemet med den kostnadsminimerande elsystemmodellen Multinode är följande:

- En elektrifiering av transportsektorn till 2045 kan öka effektbehovet i Sverige under toppeffekttimmen med ca 5 GW (från 39 GW till 44 GW), vid oplanerad laddning.
- Investeringar i mycket vind- och solkraft är kostnadsoptimalt oavsett laddstrategi men en prisoptimerad laddning av personbilar (med eller utan V2G) kan minska behovet av investeringar i annan lagringskapacitet, se Figur 8.



Figur 8: Årlig elproduktion 2045 för Sverige (till vänster) och storleken på lager (till höger) från investerings- och dispatchmodellen Multinode givet tre olika laddstrategier (Taljegård, o.a., 2023).

- Styrning av laddningen kan ersätta stationära batterier för att hantera variationer i solelproduktion och till viss del även vätgaslager om vi antar att personbilar har en batterikapacitet på 60 kWh.
- Elektrifiering av fordonsflottan kommer innebära att en enorm batterikapacitet (i storleksordningen hundratals GWh) skulle kunna vara tillgänglig för systemet för olika typer av tjänster, till exempel bidra till effektreserven genom att avstå laddning när systemet kräver det.
- Det finns stor teknisk och ekonomisk potential att utnyttja V2G för balansering av elsystemet mellan olika timmar. Det sänker systemkostnaden med 10% i fallet med prisoptimerad laddning och 20% med V2G. En ekonomisk marginal som kan utnyttjas för att kompensera elbilsägarna. Dock beror den faktiska potentialen på acceptansnivån hos elbilsägarna. Det behöver också finnas praktiska lösningar för elbilsägarna att styra laddningen och en koordinering av elbilarna så att inte nya effekttoppar uppstår i lokala elnätet.

Inom AP3 analyserades konsekvenserna av en storskalig integration av elbilar på lokal nivå, dvs. i lågspänningsnätet (400V). Inom ramen för projektet har en fiktiv elnätsmodell, benämnd REGAL, tagits fram över Sveriges lågspänningsnät med hjälp av öppna data från bland annat SCB. Kalibreringen och validering visar att REGAL gav en god representation av större geografiska områden (till exempel kommunnivå). Modellen är uppbyggd i rutor med en geografisk upplösning på 1x1km. För varje ruta har det analyserats hur elnätet kan hantera elbilsladdning. I

modellen har 10-minuters profiler för elbilsladdning adderats till profiler för hushållslast för att se vilka problem som uppstår i form av överbelastade transformatorer och kablar samt spänningsfall. Tidsstegen om 10 minuter resulterar i att det maximala antalet problem som kan uppstå i modellen är 52 000 per år.

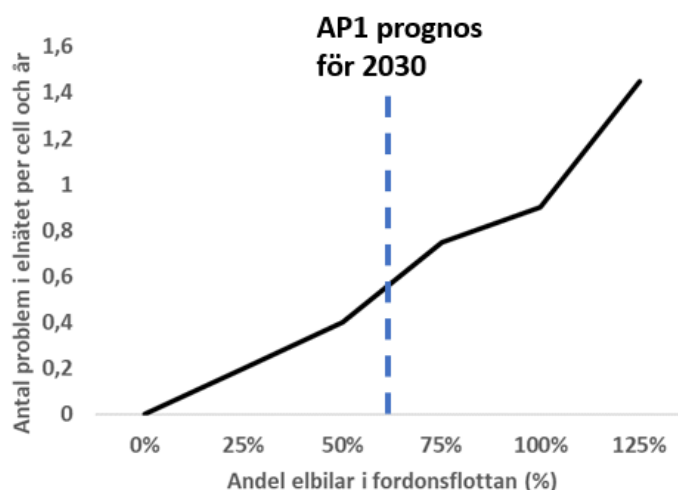
Slutsatserna från modellering av det lokala elnätet är följande:

- Problemen i lågspänningsnätet ökar relativt linjärt med antal elbilar.
- De flesta mindre tätbefolkade områdena i Sverige får få problem i lågspänningsnätet med elbilsladdning då 400 V-nät ofta är överdimensionerade.
- Störst problem med elbilsladdning blir det i tätbefolkade områden i Sverige. Problemet är främst överbelastning av transformatorer. Tabell 1 visar hur stor andel av lågspänningsnäten som får problem med överbelastning på transformatorn eller spänningsfall.

Tabell 1: Andel rutor (1x1km) i lågspänningsnätet med-mer än ett och mer än 1000 problem per år i form av spänningsfall eller överbelastning transformatorn-vid en 100% elektrifiering av personbilsflottan-

	Överbelastning av transformatorn		Spänningsfall	
	>1 problem per år	>1000 problem per år	>1 problem per år	>50 problem per år
Landsbygd	0%	0%	55%	2%
Mindre städer/förorter	88%	30%	28%	9%
Storstäder	91%	60%	17%	8%

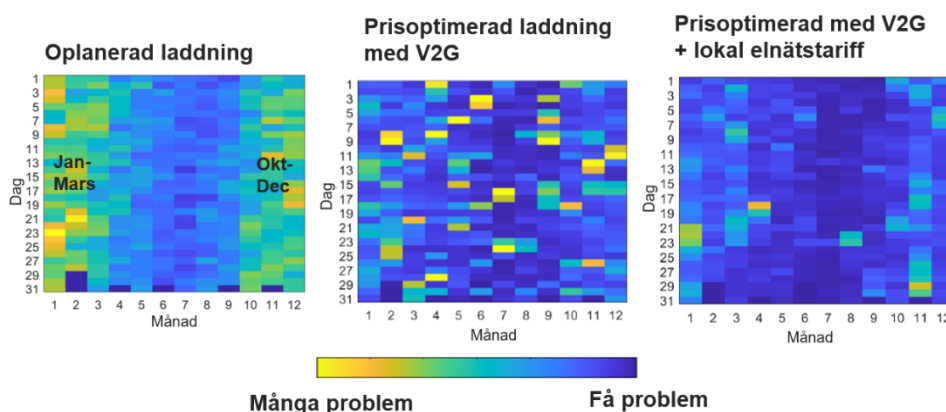
Som kan ses i Figur 9 är det i genomsnitt över Sverige relativt få problem per ruta även vid hög andel elbilar. Per 1x1km ruta är det inte mer än ett tidssteg (på 10min) av 52 000 då problem uppstår med antingen spänningsfall eller överbelastade transformatorer. Detta även om vi antar en elektrifiering av antalet bilar i Sverige motsvarande 100% av dagens flotta.



Figur 9. Genomsnittligt antal problem i elnätet per ruta (1x1 km) och år givet andelen elbilar i nuvarande fordonsflotta (Taljegård, o.a., 2023).

Figur 9 och Tabell 1 visar problem i elnätet givet att alla elbilar laddar oplanerat, dvs. direkt när de kommer hem. Figur 10 visar graden av problem i elnätet givet olika dagar på året givet tre olika laddstrategier, oplanerad, prisoptimerad med V2G och prisoptimerad med V2G och elnätstariff. Varje ruta i Figur 10 representerar en dag, desto blåare färg desto färre problem i elnätet med elbilsladdning. Det vi kan se är att:

- En oplanerad laddstrategi ger främst problem under kvällstid på vintern.
- En strategi där elbilsägarna optimerar sin laddning utifrån elpris (med eller utan V2G) ger ungefär samma antal problem i nätet men fördelat på olika dagar utspridda över hela året. Dagar då det blir problem med en prisoptimerad laddstrategi i Sverige är främst dagar då det blåser mycket.
- Om man dessutom lägger på en lokal effekttariff uppstår betydligt färre problem i elnätet. Det kommer alltså bli viktigt att styra på både elpris och elnätstariff för att balansera mer sol- och vindenergi på elprisområdesnivå och hantera kapacitetbegränsningar i det lokala elnätet.



Figur 10: Antal problem i elnätet per dag där en ruta i värmekartan motsvarar en dag för tre olika laddstrategier: oplanerad laddning (till vänster), laddning optimerad på elpris med V2G (mitten) och laddning optimerad på både elpris med V2G och en lokal elnätstariff (till höger). (Taljegård, o.a., 2023)

Arbetspaket 4 – Åtgärder och lösningar för att frigöra eller utöka nätkapacitet

Länk till rapport: [Energiforsk rapport 2023:967](#)

Utförare: Catarina Naucler och Filippa Telin, Sweco, och Yuri Joelsson, tidigare Sweco

I dagsläget uppger flera nätbolag att de kommer att ha problem att ansluta den planerade mängden laddinfrastruktur till år 2030 just på grund av begränsningar i

elnätet. Brist på kapacitet ses därför som ett av de största hindren för elektrifieringen av transportsektorn. I AP4 undersöktes och utvärderades olika former av åtgärder med potential att frigöra eller utöka nätkapacitet. En rad föreslagna åtgärder, främst relaterade till hinder som identifierats i projektets tidigare arbetspaket, presenteras och utvärderas i rapporten.

Lösningar handlar både om att nyttja befintliga nätresurser mer effektivt samt att tillämpa nya arbetssätt och tekniska lösningar. Tabell 2 nedan ger en överblick av innehållet i rapporten och den typ av åtgärder och lösningar som däri presenteras.

Tabell 2. Översikt av rapportens innehåll rörande åtgärder och lösningar för att frigöra eller utöka nätkapacitet.

Teman	Underrubriker
Behov av ny branschpraxis för att säkerställa nätkapacitet vid rätt tidpunkt	Parallella aktiviteter under tillståndsprocesser ger kortare ledtider
	Harmonisering av ärendehanteringssystem förenklar anslutningsprocessen
	Ökad samordning och kommunikation mellan aktörer
	Förbättrade analysmetoder tack vare nya elmätare
Teknik och marknad för flexibla lösningar	Kompetensförsörjning, forskning och innovation nyckelfrågor för nätbolag som vill hålla jämna steg med utvecklingen
	Smart laddning har stor potential att jämna ut effektbehov
	Lokal energilagring lämpligt för snabbplattor
	Dubbelriktad laddning kan ge stora effekter men är ännu inte kommersialiserat
Förändrade policy och regelverk	Förändrade incitament för nätbolagen möjliggör alternativ till nätutbyggnad
	Utred hur villkorade avtal kan användas som mest effektivt
	Mer avancerade nättariffer tydlig signal mot kund
	Införandet av oberoende aggregatorroll kräver noggrant övervägd metod för kompensering av obalanser
	Konsensus kring branschstandarder en tidsfråga

Ett urval av högt prioriterade åtgärder beskrivs kortfattat nedan:

- Ökad regional samordning och kommunikation. De kommande nätutvecklingsplanerna kan bli ett mycket effektivt kommunikationsverktyg mellan nätbolagen och aktörer som vill ansluta, speciellt i kombination med prognoser över planerad utveckling. För att uppnå nyttorna behöver flera aktörer samordna och kommunicera sina planer till varandra.
- Ökad kompetens och kapacitet hos nätbolagen att hantera ökade datamängder och digitaliserade lösningar. Införandet av nya funktionskrav för lågspänningskundernas elmätare gör att nätbolag kan få en djupare förståelse för olika kunders lastprofiler och konsumtionsmönster genom analys av mätardata. Denna förståelse kan användas för att hantera variationer i belastningar, effektivisera verksamheten och leda till mer

välinformerade beslut kring investeringar, planering, dimensionering, samt drift och underhåll.

- Dagens utformning av intäktsregleringen ger små eller inga incitament för nätbolagen att satsa på alternativ till nätinvesteringar. Det är viktigt att skapa incitament för nätbolagen att utforska alternativa åtgärder, som i många fall kan vara snabbare och billigare att implementera, samt att låta nätbolagen även ta hänsyn till den typen av investeringar inom ramen för intäktsregleringen.
- Villkorade avtal betraktas som ett viktigt och mycket användbart verktyg för nätbolag, men ännu råder osäkerhet kring när de bör användas. Branschpraxis bör tas fram bland annat för hur elnätsbolagen ska påvisa att kriterierna för undantag i artikel 13 punkt 3 i elmarknadsförordningen är uppfyllda.
- Det finns gott om exempel på att dynamisk prissättning av nättariffer kan vara ett bra och effektivt sätt att styra konsumenters beteende. Mer avancerade nättariffer möjliggör också att algoritmer för smart laddning, vilka i dagsläget ofta är baserade på elpris, även kan ta hänsyn till nätkapacitet.
- Lokala energilager i form av stationära batterier gör det möjligt för aktörer, exempelvis laddoperatörer, att snabbare kunna etablera sin verksamhet om nätkapacitet saknas, eller utöka kapacitet i en befintlig anslutningspunkt, eftersom batteriet kan laddas under låglasttimmar. Vidare kan batteriet bidra med systemtjänster som kan innebära ytterligare intäkter, vilket ofta också krävs för att betala den stora investering som batteriet utgör. V2G är ännu en ung teknik som trots stor potential att frigöra kapacitet är förknippat med många och komplexa hinder. Det handlar framför allt om att det finns andra åtgärder som har liknande funktion med lägre komplexitet. Lokala flexibilitetsmarknader tillskrivs stor potential av nätbolag, men marknaderna lider idag av låg likviditet. Det föreslås därför att fortsatta projekt bör identifiera incitament för ökat deltagande.

Arbetspaket 4.3 - Affärsmodeller för laddinfrastruktur

Länk till rapport: [Energiforsk rapport 2023:968](#)

*Utförare: Jon Williamsson, Gabriela Schaad och Anders Sandoff,
Handelshögskolan vid Göteborgs universitet*

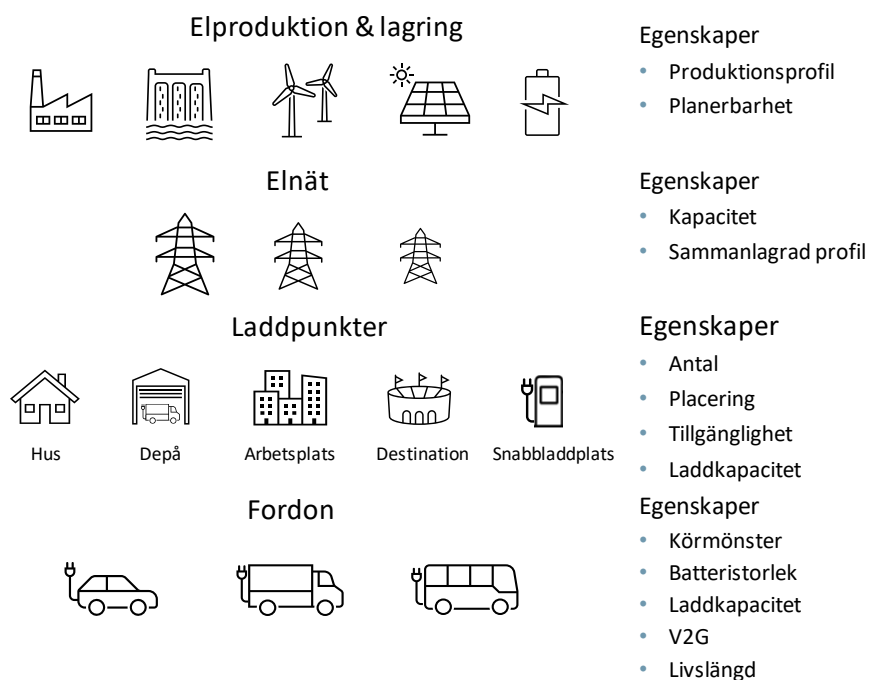
Utifrån ett marknadsekonomiskt perspektiv förväntas publik laddinfrastruktur drivas på kommersiella grunder av aktörer med livskraftiga affärsmodeller. På grund av möjligheten för hemmaladdning är det svårt för publik laddinfrastruktur att konkurrera prismässigt vilket komplicerar expansionen av laddinfrastrukturen vilket saktar ned takten på elektrifieringen. Det är därför centralt att identifiera och etablera affärsmodeller som kan stödja en resurseffektiv publik laddinfrastruktur. Fokus i detta arbetspaket har därför legat på den publika

laddinfrastrukturen som nod och möjliggörare samt på de aktörer som är avgörande för etablering av publik laddinfrastruktur. Arbetet inom detta arbetspaket har alltså utgått från tre syften:

- Att identifiera affärsmodeller som möjliggör en snabb ökning av andelen elektrifierade transporter.
- Att skapa förståelse för hur aktörer ser på fördelningen av investeringar, driftkostnader och värden som skapas.
- Att skapa insikt om hur modellerna kan stödjas kostnadseffektivt genom policyverktyg på lokal, regional och nationell nivå.

I studien identifierades sex huvudsakliga affärsmodeller: kluster, snabbbladdning, parkering, subvention, lockvara och bundling. Dessa modeller löser olika problem kopplade till specifika kundsegment eller användarscenarier och kan därför kombineras på olika sätt. Ingen av dessa modeller utgör dock någon universallösning på laddinfrastrukturens kommersiella svårigheter.

En central utmaning är investeringskostnaden och den höga räntan förväntas förvärra situationen. Således behövs insatser som sänker kostnaderna som uppstår i investeringsfasen. Kostnadsbilden har även kommit att påverkas av det höga och instabila elpriset och möjligheten att parera denna del av driftskostnaden. I rapporten presenteras konkreta förslag på åtgärder som kan sänka investeringskostnaderna, men det saknas enkla och snabba lösningar. I stället behövs samarbete för att kapa kostnader på flera håll i värdekedjan. Se Figur 11 för en översikt av värdekedjan och de olika lager av faktorer som ingått i analysen. Ett återkommande tema i intervjuerna, som utförts med aktörer på olika nivåer i kedjan, har därför varit behovet av samspel mellan nätbolag, kommuner, laddoperatörer och laddleverantörer. På sikt förväntas det behövas helt nya arbetsprocesser som öppnar upp för sektorsöverskridande samarbeten och ett kollektivt lärande. Erfarenheter som samlats in under arbetets gång visar att kommunala förvaltningar generellt sett har arbetat för att successivt åstadkomma lokala förbättringar i tillgängligheten till laddinfrastruktur. Detta har gjorts utan större investeringar, bidrag eller risktagande. Exempelvis kan kommuner hjälpa till med att identifiera lämpliga platser för installation samt minska kostnader för byggnation genom att förenkla regelverk.



Figur 11: Illustration av värdekedjan från elproduktion till fordonsladdning.

Ett annat genomgående tema i intervjuerna har varit medvetenheten om hur brådskande frågan om laddinfrastrukturens utbyggnad är. Brådskan har sporrat en vilja att agera och hitta nya, innovativa lösningar. Laddinfrastrukturen regleras av ett stort antal lagar, förordningar, föreskrifter och rekommendationer. Detta gör det svårt att greppa de regler och den praxis som påverkar de olika aktörerna som är inblandade i etableringen och driften av laddinfrastruktur. Den teknologiska utvecklingen sker därtill snabbt vilket gör att regelverk uppfattas som omoderna och rigida. För att komma runt detta har aktörer ibland valt att omtolka, ignorera eller runda regler och förordningar som ansetts stå i vägen. Detta är en ohållbar strategi i längden.

Resultaten betonar att ekonomiskt värdeskapande endast kan uppnås via kostnadsreduktioner genom skaleffekter, delade investeringar och en ökad kundbas. Utbyggnadstakten begränsas till största delen av totalkostnaden för laddinfrastrukturen och tillgången till effekt. Integration med solceller, batterier och V2G föreslås som möjliga lösningar för effektrelaterade utmaningar. Teknikutveckling och incitamentsstrukturer förväntas således stödja laddinfrastrukturen men dess effekter dröjer. På kort sikt är det i stället samarbete och öppen affärsmodellinnovation som anses nödvändigt för att höja takten i byggandet. Rapporten betonar således behovet av samarbete och effektivisering för att främja utbyggnaden av laddinfrastrukturen och elektrifierade transporter.

Arbetspaket 5 – Syntes och fallstudie Skövde lokalnät

Fallstudie för Skövde Energi Elnäts nätområde

Rapport publiceras på projektets hemsida 6 mars 2024: [Ett elsystem för elfordon | \(energiforsk.se\)](#)

Utförare: Emil Nyholm och Peter Blomqvist, Profu

Denna fallstudie omfattar Skövdes Energis nätområde och illustrerar hur elbehovet ser ut idag, samt hur kapacitetsbehovet för lokalnätet som helhet bedöms utvecklas över tid fram till 2030 och 2045. Fallstudien grundar sig på timvis mätdata för samtliga anslutna anläggningar inom Skövde Energi elnäts nätområde, samt information om hur nätstrukturen ser ut. Utifrån detta har det utvecklats ett antal scenarier för utvecklingen av elanvändningen hos dagens kundgrupper och den tillkommande elanvändningen från elfordon. Fokus har varit på att analysera hur toppeffekten påverkas av olika laddbeteenden.

Modellerat elbehov i Skövdes nätområde 2021 var ca 327GWh inklusive förluster och toppeffektbehov ca 67MW, där effektuttaget drivs av uppvärmningsbehov och aktiviteter dagtid. Elbehovet är ca 22MW högre en kall dag (-10°C) jämfört med en varm dag (över 15°C), medan effektuttaget högsta timmen dagtid är ca 20MW högre än lägsta timmen nattetid.

Det framtida årliga elbehovet beror främst av fyra faktorer: befolkningsmängd, effektivisering av elanvändning, en elektrifiering av industrin, en elektrifiering av fordonsflottan. Då fordonssektorn består av olika typer av fordon som har olika typer av körbeteenden, energibehov, elektrifieringstakt och laddningsbeteende delas sektorn in i 6 kategorier:

- Personbilar
- Lätta lastbilar (totalvikt <3,5 ton)
- Tunga lastbilar lokal/regional
- Tunga lastbilar fjärr
- Bussar lokal/regional
- Bussar fjärr

Med utgångspunkt från historik och dagsläge analyseras tre scenarier för den framtida utvecklingen av efterfrågan på el inom Skövde elnäts koncessionsområde. Scenarierna sträcker sig fram till år 2050 med nedslag år 2030 och 2045 och belyser efterfrågan på både elenergi och eleffekt. Scenarierna beskriver ett hög-, låg- och grundscenario och utgår ifrån bedömningar av utvecklingen av elbehov för olika kundgrupper. Se

Tabell 3 för en översikt av de utvecklade scenarierna.

Tabell 3. Beskrivning av de olika scenarierna.

Scenario	Nybyggnation av bostäder och lokaler (befolkningsförändring)	Effektivisering hos existerande bostadshus och lokaler	Elektrifiering av fordonssektorn	Ny industri/existerande industri
Grund	SCB	Energimyndigheten lägre elektrifiering	Hög grad av elektrifiering	Energimyndigheten lägre elektrifiering
Hög	Skövde kommun ²	Energimyndigheten lägre elektrifiering	Hög grad av elektrifiering	Energimyndigheten högre elektrifiering
Låg	SCB	Energimyndigheten lägre elektrifiering	Lägre grad av elektrifiering och förändringar i transportarbete	Energimyndigheten känslighetsfall industrin

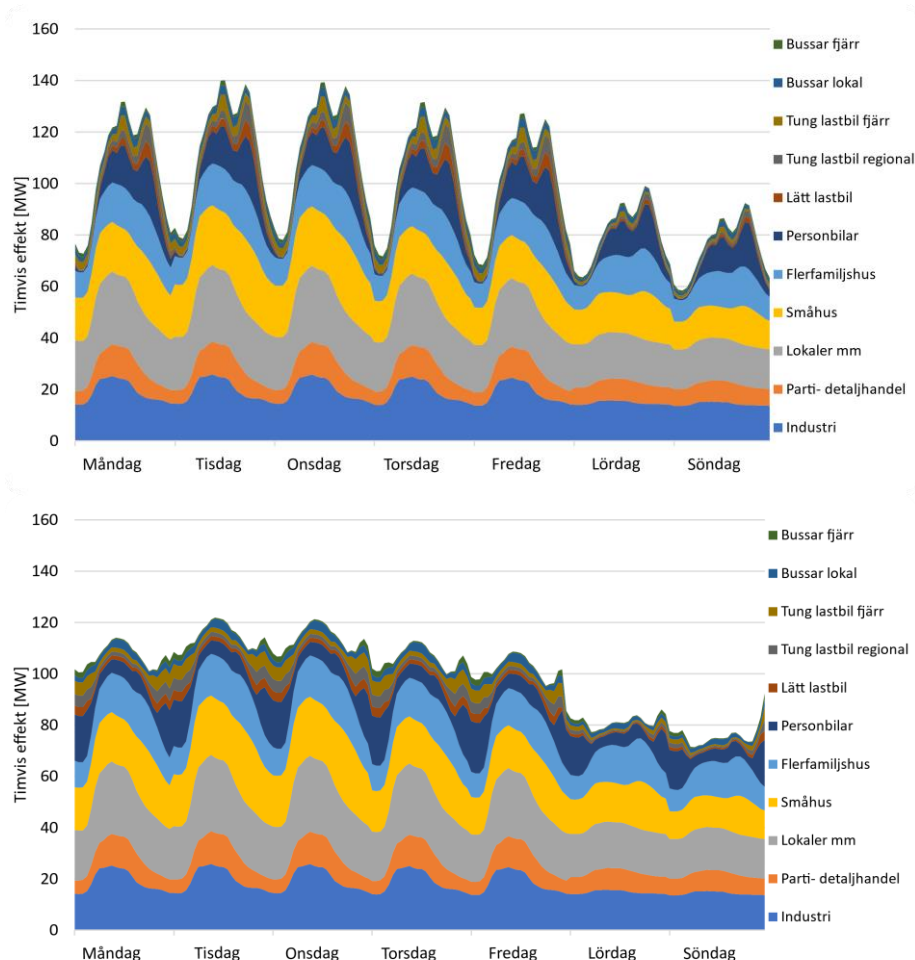
För varje fordonssegment antas laddningen bestå av en ”långsamladdning” som vi här definierar med laddning som sker när fordonet står parkerat på en hemmdestination/nattplats, för elbilar innebär det hemmet eller gatan/parkering utanför lägenheten, för lastbilar och bussar är det platsen de parkerar för natten. Den andra delen består av snabb-/semisnabb-laddning, vilket vi definierar som laddning som sker på andra ställen än hemmdestinationen/nattplatsen och som sker när fordonen används. Givet de olika laddningstyperna konstrueras det för varje fordonssegment tre typer av laddningsprofiler. En kortfattade version av dessa beskrivs nedan och vi hänvisar läsaren till den fullständiga rapporten för mer detaljer kring laddningsprofiler och lastprofilerna dessa resulterar i för fallstudien:

- Oplanerad laddning - innebär för personbilar att dessa väljer att ladda direkt när de parkeras i hemmet. För resterande så innebär det att större andel av den totala laddningen sker med snabb-laddare primärt under dagtid.
- Planerad laddning - innebär två huvudsakliga skillnader mot den ”oplanerade” laddningen, dels att en större del av laddningen för alla fordon utom bilar sker med långsamladdare och att profilen för långsamladdning av bilar är förlagd nattetid och är jämnt utspridd under dessa timmar.
- Justerad laddning - en jämnare fördelning av laddningen under dagtid anpassad efter elbehovskurvan i Skövdes nät.

Till 2045 förväntas elbehovet öka till 451 – 698GWh år 2045 beroende på scenario, där elfordon står för 14 – 22% av totalt elbehov. Detta innebär också att dagens topp-effektbehov förväntas öka rejält, särskilt i det långa perspektivet. Högelscenariot pekar på 110MW till 2045 utan en elektrifiering av fordonsflottan och 144MW om en kraftig elektrifiering av fordonsflottan inkluderas utan planerad laddning. Detta kommer att kräva stora investeringar i lokalnätet och mot

² Skövde kommuns Vision 2040 <https://skovde.se/kommun-politik/visionskovde2040/>

överliggande nät. Elfordon bedöms dock ha goda möjligheter att bidra till att jämna ut effektbehovet mellan dag och natt. En laddstrategi som jämnar ut effektbehovet över dygnet kan reducera effektbehovet med ca 19 MW och därmed minska behov av nätinvesteringar betydligt, se Figur 12.



Figur 12. Timvis effekt en höglastvecka modellår 2045, vid högskenario och oplanerad laddning, övre. Timvis effekt en höglastvecka modellår 2045, vid högskenario och justerad planerad laddning, nedre.

Analyserna visar att det kan förekomma stora skillnader i förbrukningsprofiler mellan olika användare, vilket innebär att det uppstår stora skillnader i förbrukningsprofiler mellan olika nätstationer. Detta bör beaktas så att elnätbolag inte skapar incitament som är suboptimala. Vi poängterar också att det kan skilja en del mellan olika lokalnät beroende på vilka typer av användare som främst dominerar i nätet, till exempel om det är industritungt eller främst boenden.

Slutligen illustrerade vi hur mycket kunder kan spara genom en relativt enkel styrning, dvs. genom att ladda på natten i stället för under dagen. Kontentan av dessa exempel för 2021 var att det kan bli en ganska stor besparing, runt 40% i båda fallen, där största besparingen låg i elpriset och därefter elnätstariffen. Men detta beror som sagt på nivån på elpriser som kan skilja mellan prisområden och år, samt att kostnaden och utformningen av elnätstariffen kan skilja mycket

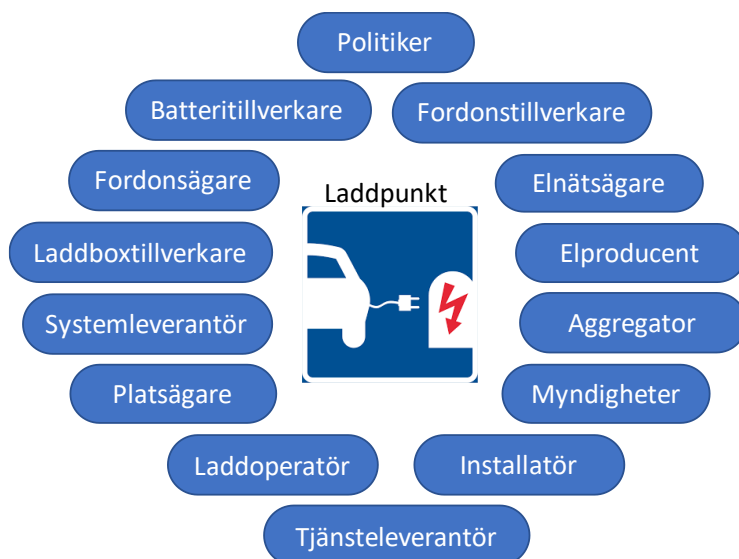
mellan elnätsområden. Om kunder agerar på de aktuella incitamenten skulle det alltså kunna bidra till att reducera effekten för nätområdet med ca 13% i högelscenariot.

Syntes och rekommendationer

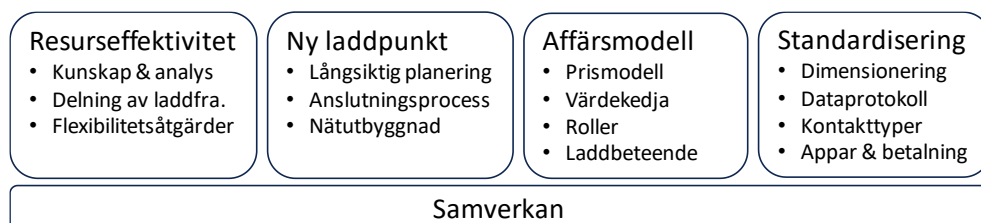
Rapport publiceras på projektets hemsida inför slutseminariet 14 mars 2023: [Ett elsystem för elfordon | \(energiforsk.se\)](https://energiforsk.se)

Utförare: Peter Blomqvist, Ebbe Löfblad och Emil Nyholm, Profu. Hampus Thureson och Johanna Lakso, Power Circle. Maria Taljegård, Therese Lundblad och Yuki Kobayashi, Chalmers tekniska högskola. Jon Williams, Handelshögskolan vid Göteborgs universitet. Catarina Naucler och Filippa Telin, Sweco. Madelene Danielzon Larsson, Energiforsk.

I projektets avslutande arbetspaket utfördes en syntes av projektets resultat och rekommendationer. Vad som framkommit under projektets gång är en stor komplexitet med en stor mängd aktörer inblandade, se Figur 13, samt den stora mängd möjliga parallella aktiviteter som kommer vara nödvändiga för att möta utmaningen. I arbetspaket 4 låg fokus på olika former av åtgärder med potential att frigöra eller utöka nätkapacitet inom syntesarbetet såg utförare till helheten av de resultat och erfarenheter som samlats in under projektets gång. I syntesen delades föreslagna åtgärder in i fem områden, vilka ses i Figur 14.



Figur 13. Exempel på aktörer som är involverade i elfordonsladdning.



Figur 14. Områden som projektets föreslagna åtgärder delats in i.

Föreslagna åtgärder delades upp i två typer, konkreta förslag på hantering och åtgärder som innebär vidare analys, utredning eller utveckling. I följande ges en kort överblick av de identifierade områdena, och de teman som samlas inom varje område, samt ett urval av de viktigaste åtgärderna inom varje. Totalt omfattar syntesen 65 åtgärder, i denna sammanfattning har de tre högst prioriterade åtgärderna inkluderats för varje tema inom de fem områdena och vi hänvisar läsaren till Energiforsk rapport 2023:969 för den fullständiga redovisningen.

Resurseffektivitet

För att nå våra uppsatta klimat- och miljömål är det av stor vikt att vi snabbt och resurseffektivt kan åstadkomma en storskalig elektrifiering av fordonsflottan. En fördel är att resurseffektivitet och snabbhet i stor utsträckning hänger ihop, dels för att tid är pengar, dels för att ett effektivare nyttjande av befintliga resurser gör att omställningen kan ske snabbare. De tre teman som beskrivs inom området Resurseffektivitet är:

- Kunskap och analys (beskrivs i text utan definierade åtgärder)
- Delning av laddinfrastruktur
- Flexibilitetsåtgärder för ett effektivt nyttjande av elnät och elsystem

En viktig aspekt som kommer upp inom flera olika områden är behovet av ökad kunskap och analysförmåga. Även om kunskap kommer in som en aspekt i flera av de efterföljande avsnitten får det här inledningsvis ett eget avsnitt. Ett urval av åtgärder från de andra två teman återfinns i Tabell 4.

Flertalet deltagare i de workshopar som har genomförts inom ramen för projektet har dock påpekat att det behövs någon form av konsolidering, dvs. någon aktör som kan syntetisera och skapa helhetsbilder av vad som har gjorts och vad som behöver åstadkommas. Detta projekt är ett försök att bidra till detta. Det behövs dock ett långsiktigt ansvar av någon aktör att samordna så att detta sker fortlöpande. En återkommande aspekt är också att kunskapsnivån behöver höjas hos många aktörer, samt att graden av dialog och samverkan behöver öka. Ett förslag som baserats på de inspel som inkommit under projektets gång är att utveckla en portal/plattform där aktörer kan få en så god helhetsbild som möjligt och som innehåller konkret information och tips på hur olika aktörer kan gå tillväga i sitt arbete inom området. Energimyndigheten som, vilket framgår nedan redan har ett visst ansvar på området, bedöms vara en lämplig aktör för att utveckla och förvalta denna plattform i samverkan med andra aktörer.

Ett genomgående råd från projektet är också att lära från aktörer i Sverige som har kommit långt i sitt arbete, samt från länder som Norge och Nederländerna, vilka har kommit längre än Sverige på många sätt. Viktiga anledningar till att Norge har kommit långt i utvecklingen är att de vidtagit flera åtgärder för att göra det attraktivt att använda elfordon, som att ge incitament till elfordonsägare i form av skattebefrielse, befrielse från vägtullar och gratis laddning på allmänna laddningsstationer, utöver att de har satsat på att bygga ut laddinfrastrukturen.

Inom ramen för detta projekt har det framför allt fokuserats på elnätsbolagens kunskapsbehov. För att få en uppfattning om vilka kunskaper elnätsbolagen behöver har det utgått dels från vad de gör för åtgärder idag, dels vad de behöver göra framgent. Nya typer av åtgärder kräver nya kunskaper som inte alltid finns internt inom elnätsbolagen idag, vilket har lyfts som en stor utmaning. Man behöver helt enkelt mer människor i elnätsbolagen med delvis nya kompetenser.

Tabell 4. Åtgärdsförslag gällande delning av laddinfrastruktur och flexibilitetsåtgärder.

Tema	Beskrivning	Ansvar
Delning av laddinfrastruktur	Se över regelverk så att det inte hindrar etablering av ny laddinfrastruktur.	Ei, Skatteverket mfl.
	Kartlägg vilken infrastruktur som kan delas. Utforska värden (lägre investeringskostnad, ökad utnyttningstid, ökad lönsamhet, fler laddpunkter) och hinder (skalskydd, funktionalitetskrav och regelverk).	Forskning, flera aktörer
	Utred hur stöd för all (semi)publik laddning bör se ut.	Energimyndigheten
Flexibilitet i elnätet	Att elnätsbolag inför incitament för kunder till ett effektivare nyttjande av elnätet.	Elnätsbolag
	Se över incitament i intäktsreglering för att främja alternativ till nätutbyggnad	Ei
	Analysera hur kunders incitament och agerande påverkas av incitament som (effekt)tariffer, elpris och skatter.	Forskning

Anslutning av laddkapacitet

När det kommer till själva anslutningen av ny fordonsladdning behövs det en uppdelning i tidsperspektiv för att kunna redogöra för möjliga åtgärder på ett tydligt sätt. Vi har valt att dela upp det i långsiktig planering och anslutningsprocessen, men beroende på tidsperspektiv kan dessa flyta ihop i viss utsträckning. De tre huvudteman som beskrivs inom området Anslutning av laddkapacitet är:

- Långsiktig planering
- Anslutningsprocess (uppdelat på förfarande och utveckling)
- Nätutbyggnad

Ett urval av åtgärder från dessa teman återfinns i

Tabell 5.

Tabell 5. Åtgärdsförslag gällande långsiktig planering, agerande i anslutningsprocessen och nätutbyggnad.

Tema	Beskrivning	Ansvar
Långsiktig planering	Öka transparens och skapa forum gällande planering – region, kommun, elnätsbolag och slutkunder (nätutvecklingsplan)	Elnätsbolag mfl
	Skapa en tydlighet vad som gäller kring att bygga elnät på prognos	Ei
	Utred hur man får bättre planering att ske i praktiken. Hur man får bättre uppskattningar om kundernas framtida behov.	Elnätsbolag Forskning
Anslutningsprocessen, förfaranden	Ta fram tydliga anslutningsprocesser, så harmoniserat som möjligt mellan olika elnätsbolag.	Elnät
	Tidiga och löpande tidsuppskattningar under anslutningsprocessen för kunders planering, beställning av utrustning, testning etc.	Elnät
	Ändring i tidplan bör rapporteras så snart som möjligt.	Elnät
Utveckling av anslutningsprocessen	Skapa kapacitetskartor som är tidsatta så att det blir lättare för laddoperatörer att planera för laddplatser.	Forskning Elnätsbolag
	Kunder tydliggör hur deras effektbehov ser ut över tid	Elnätskunder
	Ta fram platser för publik laddning i översikts- och detaljplaner, med hänsyn till elnätskapacitet.	Kommun
Nätutbyggnad ³	Skapa en strukturerad och transparent process för alla involverade aktörer.	Generellt
	Att man kommunicerar så tidigt som möjligt om tidplan och om eventuella förändringar som uppstår.	Generellt
	Att samverka i den utsträckning som är möjlig.	Generellt

Affärs- och prismodeller

Det finns flera olika typer av laddplatser, vilka i sin tur kan ha flera typer av ägare som har olika mål och strategier vilket ökar komplexiteten i att identifiera lönsamma affärs- och prismodeller. Dessutom påverkas de uppströms av elpriset, elnätstariffer samt skatter. Egenskaperna för varje nivå i värdekedjan behöver beaktas, inklusive att kundernas behov och betalningsvilja varierar beroende på situation. Bedömningen är att fortsatt förtydligande och utveckling av de olika aktörernas roller och möjliga agerande i olika sammanhang är viktigt för att förbättra effektiviteten i den fortsatta elektrifieringen, även i relation till

³ Åtgärdsförslagen grundar sig på den utredning Ei genomförde tillsammans med flera elnätsföretag, länsstyrelser och Lantmäteriet för att ta fram ett antal förslag för att snabba upp processen. Energimarknadsinspektionen. (2023). Främjande av ett mer flexibelt elsystem.

affärsmodellerna. Det är därför angeläget att regelverken utformas med detta i åtanke, vilket det i viss mån görs då Ei:s ofta efterfrågar inspel från marknadens aktörer för att utformning ska bli så ändamålsenlig som möjligt. De tre huvudteman som beskrivs inom området är:

- Affärs- och prismodeller (generellt)
- Värdekedjan och roller
- Laddbeteende

Ett urval av åtgärder från dessa teman återfinns i Tabell 6.

Tabell 6. Åtgärdsförslag gällande affärs- och prismodeller, värdekedjan och roller samt laddbeteende.

Tema	Beskrivning	Ansvarig
Affärs- och prismodeller	Utveckla hanteringen av laddinfrastruktur i lokala plandokument så som energiplaner.	Kommun
	Se till att prissättning (priser och styrmedel) främjar eller åtminstone inte snedvrider incitament för effektivitet	Elnätsbolag Regering
	Etablera lokala kontaktytor för aktörer som är intresserade av systemperspektivet vid utbyggnad av laddinfrastruktur	Kommun mfl
Värdekedjan och roller	Utred roller och behov av stödsystem för att få till stånd laddning på så kallade ”vita fläckar”	Energimyndigheten
	Utse en ”laddansvarig” (i kommun eller företag) med ansvar att sammanställa och förstå laddinfrastrukturfrågan utifrån organisationens behov.	Kommun Företag
	Etablera lokala kontaktytor för aktörer som är intresserade av systemperspektivet vid utbyggnaden av laddinfrastruktur.	Elnätsbolag
Laddbeteende	Informera om värdet av genomtänkt laddstrategi direkt för kunden själv och för systemet.	Energimyndigheten Laddoperatör Elnätsbolag
	Utbilda fordonsanvändare om laddetik och ge incitament för att skapa en positiv upplevelse.	Laddoperatör
	Analysera vad olika laddplatser har för olika karaktär och anpassa erbjudanden	Forskning Laddoperatör

Standardisering och gemensamma riktlinjer

Standardisering är en avgörande faktor för att kunna skapa all den ”smarthet” och effektivitet som beskrivits i mer detalj i syntesrapporten. Det handlar främst om att underliggande mjukvara och kommunikationsprotokoll, som kan variera mellan tjänsteleverantörer och producenter, behöver vara kompatibla med varandra för att föreslagna åtgärder ska fungera som tänkt på ett effektivt sätt. Men det handlar även om att hitta gemensamma arbetssätt och nya metoder för att

kunna arbeta effektivt med omställningen. Standardiseringen delas alltså här upp i två delar:

- standarder för kommunikationsprotokoll och digitala lösningar
- standardiserade arbetssätt och metoder (som i viss utsträckning överlappar med andra områden).

Ett urval av åtgärder från dessa teman återfinns i Tabell 7.

Tabell 7. Åtgärdsförslag gällande standardiserade kommunikationsprotokoll och digitala lösningar samt arbetssätt.

Tema	Beskrivning	Ansvarig
Standardiserade kommunikationsprotokoll och digitala lösningar	Ta fram standard gällande underliggande data för appar, främst användande och utveckling av OCPI	Laddoperatörer
	Standardisering för betaltjänster	Laddoperatörer
	Funktionskrav på att elmätare ska ha kundgränssnitt som stöds av öppen standard.	Ei
	Kommunikationsprotokoll för att implementera villkorade avtal, användande av OpenADR.	Elnätsbolag
Standardiserade arbetssätt	Standardisering för laddkontakter, bör vidmakthållas	
	Analys och riktlinjer för hur dimensionering av nät bör ske framåt.	Forskning
	Ta fram nya metoder för hur man använder mätdata för att öka kunskap om sammanlagrat elbehov i elnäten.	Forskning

Transparens och samverkan

Avslutningsvis är det viktigt att trycka på behovet av att ökad transparens och samverkan. I de workshops och intervjuer som genomförts inom projektet har det kommit upp flertalet gånger att det finns ett stort värde av att samverka, eller åtminstone samtala och utbyta information i så stor utsträckning som möjligt. Det finns däremot hinder för transparens, till exempel GDPR och säkerhetsklassningar eller affärshemligheter. Det finns dock en hel del som det faktiskt är möjligt att vara transparent eller samverka kring. För att nå ökad öppenhet behöver aktörer börja samtala i större utsträckning och vara medvetna om de olika grader av transparens och samverkan som är möjlig. Nedan ges ett antal exempel på olika grader av öppenhet och samverkan som är värdefull för en effektiv utveckling av laddinfrastrukturen.

- *Ökad dialog* är första steget för att nå transparens och samverkan.
- *Ökad transparens.* Här föreslås forskare, branschorganisationer och företag identifiera vad som det finns värde att vara transparent kring sedan får företag bedöma vad av detta man kan vara transparent kring.
- *Delad infrastruktur* bedöms vara väldigt fördelaktigt för att snabbt bygga ut en resurseffektiv laddinfrastruktur.

- *Standardisering* möjliggör, som nämnts ovan, en effektivare användning av resurser.
- *Samverkan*. Branschorganisationerna bedöms få en viktig roll i att öka samverkan där endast några exempel ges här. I den kunskapsplattform som Energimyndigheten föreslås bli ansvarig för är rekommendationen också att man ska samverka mellan myndigheter och branschorganisationer för att öka transparensen och höja kunskapsnivån.

Diskussion

Att åstadkomma en snabb och resurseffektiv elektrifiering av fordonsflottan är, som framgått, en stor utmaning då det förväntas hända väldigt mycket i elsystemet på kort tid. För att hantera situationen är det därmed viktigt att skapa struktur och bryta ned problematiken i lagom stora bitar. Förhoppningsvis har det även framgått att det finns många lösningar som ger möjlighet till en fortsatt kraftig elektrifiering av fordonsflottan både i det korta och långa perspektivet. Men som också framgår behövs det ett fortsatt arbete av många aktörer för att detta ska bli verklighet.

I projektet har en viss prioritering av åtgärder föreslagits men med deltagande av en stor bredd av aktörer som behöver bidra så finns behov av att utföra många åtgärder parallellt. Parallellt genomförda åtgärder bedöms vara nödvändigt för att utvecklingen inte ska hindras eller bli ineffektiv. Övergripande efterfrågas en koordinering på nationell nivå i form av en elektrifieringsstrategi, där man också kan samla lagstiftning och ramverk. Energimyndigheten föreslås bli nationell samordnare för laddinfrastruktur, vilket inkluderar alla delar som bidrar till en snabb och effektiv utveckling. Inte minst samverkan med andra myndigheter och branschorganisationer för att skapa en plattform för kunskapsspridning och koordinering.

Som framgick av prognoserna som tagits fram för elfordonsflottan är det många faktorer som avgör utvecklingen utöver tillgången till laddinfrastruktur. Om vi som samhälle vill att utvecklingen ska fortsätta i samma snabba takt behöver det finnas incitament som gynnar ägande av elfordon. Exempel på hur ägande kan gynnas är skatteincitament, subventioner, undantagande av elfordon från trängselskatter och parkeringsavgifter samt andra förmåner.⁴ Särskilt viktigt är det för ägare av tunga fordon att få en tillräckligt bra investeringskalkyl.

Laddinfrastruktur bedöms fortsatt vara avgörande för en snabb och kostnadseffektiv utveckling – inte minst samspelet mellan laddinfrastruktur, elsystem och elnät – som varit fokus för detta projekt. Ett urval av de övergripande åtgärder som bedöms bli framgångsfaktorer finns listade i denna sammanfattning och en fullständig redovisning går att finna i syntesrapporten. Forskare har inom projektet pekat ut vilka utmaningar som lågspänningsnätet kan komma att möta vid en storskalig elektrifiering givet olika typer av laddbeteenden. Men det har även påvisats att det finns möjligheter och potential

⁴ Det finns redan flera styrmedel för olika fordonstyper idag (Energimyndigheten, 2023).

att stävja problemen som kan tänkas uppstå och att ett resurseffektivt nyttjande av nätet är en viktig målsättning för att lyckas. Om vi ser till användarna, bilisterna, så uppger hälften av de elbilsägare som deltagit i projektet att de har möjligheten att styra sin laddning och har utnyttjat möjligheten att styra mot elpris till följd av de högre elpriser i Sverige under 2022 och 2023. De flesta har en egen laddbox i hemmet och elbilen står parkerad stora delar av tiden utan att ladda, vilket också ger stora möjligheter till styrning av laddningen mot vissa timmar. Många deltagare har också en hög batterinivå när de kommer hem och parkerar (dvs. ett stort batteri i förhållande till dagliga körsträckan) vilket ger möjligheter till återmatning av el till elnätet kritiska timmar på kvällen. Acceptansnivån hos elbilsdeltagarna i studien visar också att det finns en potential för styrning av laddning och V2G mot en ekonomisk compensation. Det är dock fortfarande en stor andel, nästan hälften, som av olika skäl ej har möjlighet att ens styra laddningen och det är i dagsläget nästan ingen som har tekniska möjligheter för V2G.

Det finns en hel del hinder för implementering av V2G, speciellt på stor skala. Hindren har varierande karaktär, alltifrån regulatoriska, kompetensrelaterade till tekniska, beteenderelaterade samt kopplade till affärsmodeller. Bland intervjuresultaten från detta projekt framträder ett hinder bland resten, nämligen att smart laddning, som på många sätt kan erbjuda liknande tjänster som V2G, idag har en högre grad av implementering, mognad och mycket lägre investeringskostnad. Även batterilager kan leverera samma tjänster, med minskad komplexitet eftersom man inte behöver göra avvägningen mellan att använda batteriet till elsystemtjänster eller transport. Den funktionalitet som V2G kan bidra med, som utjämning av laster, frekvensreglering, energilagring för resiliens, finns alltså redan från andra resurser. V2G behöver alltså förankras mer i praktiken genom pilotprojekt med kommersiella flottor, såsom depåer. Detta skulle möjliggöra att V2G-tekniken testas och utvärderas i en verklig situation. Det är också viktigt att hitta aktörer som vågar ta steget och prova tekniken först. Därtill behöver lämpliga affärsmodeller utvecklas.

I den analys av lågspänningsnätet som utfördes inom detta projekt så har endast åtgärder kopplat till laddningsstrategier i relation till prisoptimering och effekttariffer samt V2G varit i fokus. Fortsatta analyser behövs där fler typer av flexibilitetslösningar inkluderas för att ytterligare hjälpa oss att belysa, förstärka och förtydliga möjligheterna eller eventuella hinder med ett mer effektivt nyttjande av nätet. Till exempel genom att lägga till stationära batterier eller solceller i lågspänningsmodellen för att se hur det påverkar, skapar möjligheter eller belyser eventuella problem som kan uppstå. Likaså behövs fördjupningar i vilka typer av områden, med en mer komplex beskrivning än landsbygd och tätort, som får problem med elbilar – dvs. vad påverkar mer än bara befolkningstäthet som hittills konstaterats.

Utöver att analysera fler frågeställningar med lågspänningsmodellen pågår utveckling av en modell för mellanspänningsnivån i Sverige som bygger på samma principer som lågspänningsmodellen REGAL. Mellanspänningsmodellen inkluderar spänningsnivåer upp till och med 130kV. Forskare har påbörjat att utveckla REGAL från att bara inkludera 400V till att inkludera spänningar upp till

45kV, för att därefter expandera den till 130kV. Elnätet på 70kV och 130kV är dock ofta uppbyggt annat sätt än lägre spänningsnivåer, då det är mer maskat. På mellanspänningsnätet kopplar dessutom nya typer av elbehov och elproduktion in sig så som:

- Laddstationer för lastbilar och bussar (depåer)
- Industrier (förutom stora industrier som har en direkt anslutning till transmissionsnätet)
- Sol- och vindkraftsanläggningar (förutom större havsbaserade vindkraftsparker som har en direkt anslutning till transmissionsnätet)

För att möta elbehovet till år 2045 visar analysen att det är mest kostnadseffektivt att investera i sol och vind. Till 2045 pekar resultaten av modellering av elsystemet på en investering i 36GW vindkraft och 30GW solkraft. Det kan låta som mycket effekt, men det är ingen omöjlighet då det innebär att installationskapaciteten per år behöver ligga på ungefär samma nivå som den gjort under projektets gång. Däremot har många ansökningar om ny vindkraft avslagits under de år som projektet pågick, vilket kommer att synas på mängden installerad effekt under de närmsta åren och påverka möjligheterna att möta behovet på effekt.

Publikationslista

Lundblad, T., Taljegard, M., Mattsson, N., Hartvigsson, E. & Johnsson ”Large-scale modeling of hosting capacity for electric vehicles in distribution grids – an analysis of where and when grid issues arise and how they can be alleviated”. To be submitted in beginning of 2024 to Applied Energy. Scientific Journal

Lundblad, T., Taljegard, M., Mattsson, N., Hartvigsson, E. & Johnsson “Generating synthetic distribution grids to enable large-scale estimations of hosting capacity, an introduction to the REGAL model.” To be submitted in beginning of 2024 to Energies. Scientific Journal.

Lundblad, T., Romero Del Rincón P., Taljegard, M., Mattsson, N., Hartvigsson, E., and Johnsson, F. “Temporal analysis of power system violations linked to electric vehicle charging from low-voltage grids in Sweden.”. To be submitted in beginning of 2024 to Energies. Scientific Journal.

Referenser, källor

Barr, Johanna och Topel, Monica. 2022. Långsiktiga scenarier för introduktion av elfordon. Energiforsk rapport 2022-899.

Blomqvist, Peter och Nyholm, Emil. 2023. Elektrifiering av fordonsflottan - Fallstudie av Skövde Energi Elnäts nätområde. Energiforskrapport 2023-970.

Energimarknadsinspektionen. 2023b. Främjande av ett mer flexibelt elsystem.

Naucler, Catarina, Telin, Filippa och Joelsson, Yuri. 2023. Ett elsystem för elfordon - Åtgärder för att säkerställa en storskalig elektrifiering av fordonsflottan. Energiforskrappport 2023-967.

Taljegård, M., Nyholm, E., Lundblad, T., & Kobayashi, Y. (2023). Påverkan på elsystemet och elnätet av en storskalig elektrifiering av fordonsflottan. Energiforskrappport 2023-966.

Williamsson, Jon och Schaad, Gabriela. 2023. Affärsmodeller för laddinfrastruktur. Energiforskrappport 2023-968.

Bilagor

- *Administrativ bilaga*