

# Mätning och styrning av eleffekt i en del av Trollhättan.

*Erfarenheter från Living Lab*

Projektet drivs gemensamt av Innovatum Science Park, Trollhättan Energi och Kraftstaden Fastigheter, med stöd från Fyrbodals kommunalförbund och Högskolan Väst. Via forsknings- och innovationsprogrammet Framtidens elsystem delfinansieras det av Energimyndigheten och är en del av initiativet ”Fyrbodals för framtidens flex”.

Living Lab i Trollhättan testar smarta sätt att styra elanvändningen för att öka flexibiliteten utan stora investeringar i elnätet. Resultaten visar att elbilsaddning kan styras effektivt utan negativ påverkan på användarna, vilket både sparar pengar och gör elsystemet stabilare. Smart styrning optimerar elanvändningen, minskar risken för överbelastning och skapar utrymme för fler laddpunkter.



 innovatum  
science  
park

  
Trollhättan  
Energi

  
Kraftstaden

Med stöd av

 Energimyndigheten  
[www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)

# Sammanfattning

Projektet har visat att flexibilitet och smart styrning av elanvändning i industriområden är tekniskt och organisatoriskt möjlig och att resultaten är skalbara för liknande områden nationellt. Genom en användarcentrerad innovationsprocess har laddinfrastruktur styrts via standardiserade API:er och molntjänster. Mätdata har samlats in med hög upplösning för att analysera effekttoppar och användarbeteenden.

Testerna har genomförts i tre loopar med olika laddarfabrikat och kluster. I den tredje testfasen omfattade testerna sex laddkluster bestående av 28 Zaptec Pro-laddare och 16 Easse Charge-laddare, där den högsta möjliga styrbara effekten var 200 kW. Effektstyrningen utfördes genom att reducera effekten med cirka 40 kW, vilket gav tydliga utslag på fastigheternas elanvändning utan att påverka verksamheten negativt. Energimätare kopplades upp via HAN-port på elmätarna, vilket möjliggjorde insamling av realtidsdata med 10 sekunders upplösning.

En viktig lärdom är att styrning av elbilsladdning kan ske utan negativ påverkan på användarupplevelsen, förutsatt att tekniken är rätt utformad och att roller och ansvar är tydligt definierade. Tester har visat att laddningen inte bör dras ner till noll, eftersom detta avbröt sessionen helt hos vissa bilmodeller.

Vid återställning av effekten reagerade bilmodeller på skilda sätt, vissa återstartade direkt med trefasladdning medan andra gick först till enfasladdning och sedan vidare till trefasladdning. Äldre laddare utan öppna gränssnitt kunde inte inkluderas, vilket understryker vikten av standardiserad teknik och öppna API:er för framtida flexibilitetslösningar.

Projektet har visat att flexibilitet i elnätet ger systemnytta. Genom att bättre utnyttja befintlig infrastruktur kan behovet av nya nätstationer skjutas upp eller undvikas, vilket leder till kostnadsbesparingar och ett mer robust elsystem. Fastighetsägare kan införa fler laddpunkter utan att överskrida abonnemangsgränsen och elnätsägare får bättre kontroll över nätets användning och kapacitetsutnyttjande. Genom att optimera olika laddkluster, beroende av varandra, kommer dessa laddklusters gemensamma påverkan på elnätet begränsas. Detta ger en uppskattad potentiell ökning av laddare i området med ca 20-40%.

Projektet har ställts inför flera utmaningar, bland annat tekniska problem vid installation, skillnader mellan laddboxar och bilmodeller samt behovet av standardiserad mätinfrastruktur. Dessa utmaningar har lett till viktiga insikter och ett betydande kunskapslyft hos alla inblandade aktörer. Samverkan, planering för support och öppen dialog har varit avgörande för att snabbt kunna identifiera och åtgärda problem och erfarenheterna används nu som modell för liknande satsningar i andra regioner.

# Innehållsförteckning

Inledning .....	1
Bakgrund och syfte .....	1
Mål.....	2
Genomförande av Living Lab .....	2
Elnätsanalys .....	3
Överskriden kapacitet .....	3
Förutsättning inom testområde .....	3
Kartläggning och mobilisering av engagemang .....	4
Roller och ansvar .....	5
Testupplägg och metodik .....	6
Påverkan på aktörer och elsystem.....	12
Observationer .....	13
Avslutande insikter.....	13
Systemnytta .....	13
Framtidsmöjligheter .....	14
Projektets utmaningar .....	15
Måluppfyllnadsgrad.....	16
Slutsatser .....	18



# Mål

Inom ett område, en så kallad “ministad”, kombineras verksamheter och boende som är representativt för många svenska kommuner och industriområden i tätorter. Därmed är projektets resultat skalbara och användbara nationellt.

Projektets mål är att:

- Minska toppeffekten med minst 10 % genom smart styrning och flexibilitet.
- Utveckla och testa affärsmodeller och tekniska lösningar för dynamisk effektallokering.
- Skapa skalbara resultat som kan användas nationellt.
- Undersöka möjligheter och hinder för ökad laddinfrastruktur utan att öka det totala effektuttaget.
- Bidra med kunskap och modeller för optimering av elnätskapacitet, användning, lagring och produktion.

## Genomförande av Living Lab

Living Lab har använt en användarcentrerad innovationsprocess i verklig miljö, där företag, fastighetsägare, energibolag, elnätsägare, högskola och science park samarbetat. Det här partnerskapet har gjort det möjligt att testa och utveckla nya lösningar på komplexa samhällsutmaningar. Genom att arbeta i en verklighetstrogen kontext har projektet byggt upp kunskap och erfarenhet. Tack vare detta har tiden från idé till genomförande minskat, vilket har ökat möjligheterna till innovation och bidragit till en snabbare omställning mot hållbar utveckling.

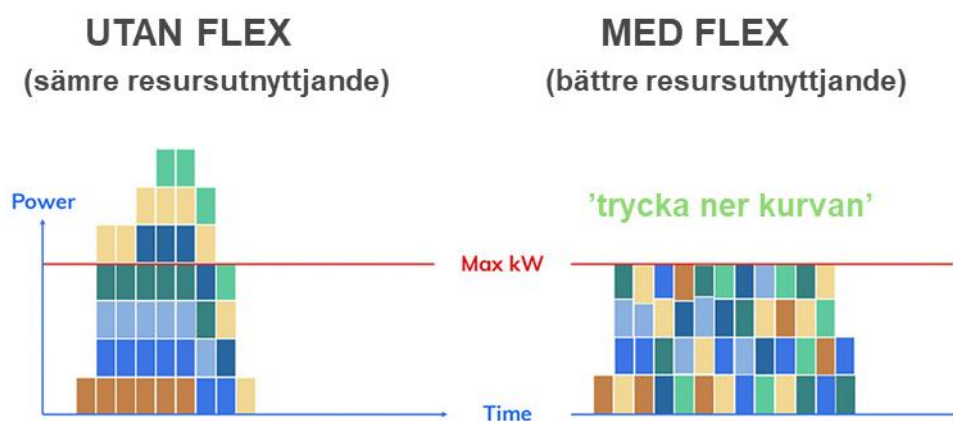


Bild 2: Flexibilitet kan beskrivas som bättre resursutnyttjande genom att använda energi så att högt effektuttag uteblir.

## Elnätsanalys

Lokal kapacitet i elnätet kan delas in i två delar:

- Teknisk kapacitet
- Ekonomisk kapacitet

Kapacitet i elnätet innebär effekt [kWh/h]. Den tekniska kapaciteten är komponenternas dimensionerade överföringsförmåga. Ekonomisk kapacitet är den effektnivå som nätbolag eller kund abonnerar på från överliggande nät och därmed äger rätt att ta ut eller mata in.

Att lokala kapacitetsproblem eller så kallade flaskhalsar uppstår i nätet börjar bli mer och mer vanligt till följd av den förändring som sker i systemet. Effektkrävande kunder som tillkommer på nya ställen i elnätet skapar utmaningar.

### Överskriden kapacitet

Tisdag den 16 januari 2024 mellan klockan 07:00-13:00 överskreds den totalt abonnerade effekten för området som matar ”ministaden”. Det var en kall vinterdag där temperaturen under ett par timmar sjönk från -10 till -22 grader Celsius. Det var inte den tekniska kapaciteten som överskreds utan den ekonomiska. Därmed resulterade det inte i något strömavbrott men på sikt övertrasseringsavgifter och ökade kostnader för nätbolaget och i sin förlängning då även kunderna.

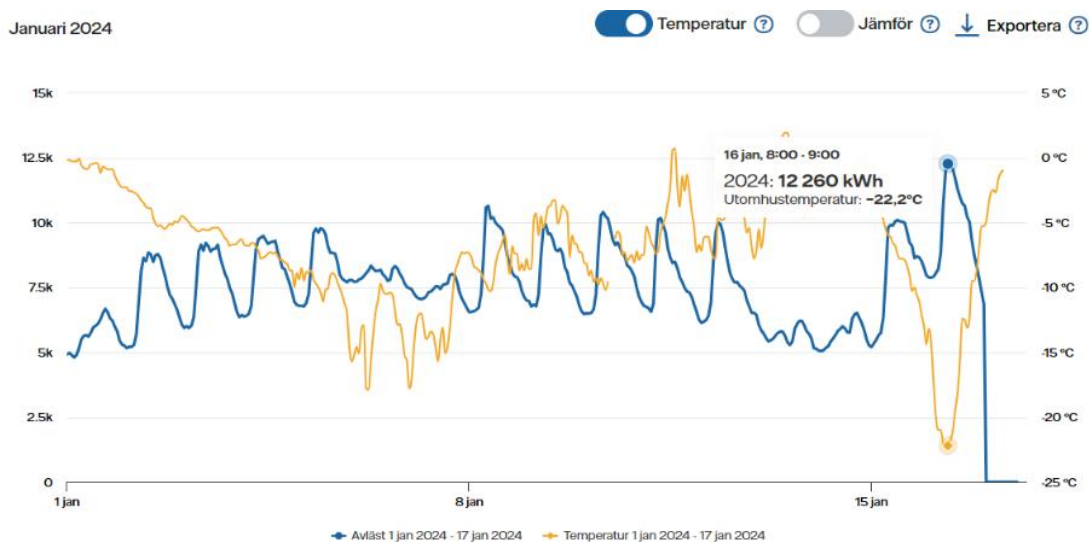


Bild 3: Effekttuttag i ”ministaden” med kapacitetsbrist den 16 januari 2024.

### Förutsättning inom testområde

Området är en dynamisk och komplex miljö där cirka 5 000 personer bor, arbetar och rör sig dagligen. Trafiken är omfattande med omkring 3 000 fordon som passerar vid olika tider på dygnet, varav en växande andel är elfordon. Energisystemet är väl utbyggt med mer än 1 500

elmätare, vilka har mätvärden på 15 minuters nivå sedan flera år, samt ett elnät som övervakas av ett 30-tal mätstationer. Den årliga energianvändningen överstiger 40 GWh och effektuttag ligger på över 10 MW vid topp effekt vilket visar på ett betydande energibehov.

Mer än 20 aktörer och verksamhetsutövare har varit deltagare (minst med analys av data och som mest via att inkludera effektstyrning) och det finns över 700 parkeringsplatser som berörs av EU regler gällande laddinfrastruktur. Området har en mångsidig blandning av industri, flerbostadshus, villor, idrottsplatser, förskolor, affärer och olika serviceverksamheter vilket skapar en levande miljö med varierande behov.

Living Lab-området står inför en stark utveckling där både energi och mobilitet är centrala. Effektbehovet är redan högt och prognoserna pekar på fortsatt ökning. Fordonsladdning är en kritisk faktor med dagens behov på över 4 MW som förväntas växa i takt med elektrifieringen. I nuläget finns mer än 100 laddpunkter men framtiden kräver en betydande expansion för att möta efterfrågan. Utmaningar kopplade till effektbegränsning och lastbalansering måste lösas genom samverkan eftersom laddstolpar kan skapa risker om styrning och optimering inte sker gemensamt. Vissa tester och optimeringar pågår men är isolerade och behöver skalas upp.

Området har tydliga tillväxtbehov som sträcker sig bortom elektrifiering av fordon och öppnar för innovativa lösningar och smarta system som kan optimera energianvändningen och bidra till en hållbar framtid. Detta gör området till en attraktiv plats för utveckling och innovation inom energi och mobilitet.

## Kartläggning och mobilisering av engagemang

Inför genomförandet av Living Lab genomfördes ett omfattande arbete för att kartlägga förutsättningarna i testområdet och bygga upp den kompetens som krävdes för att engagera relevanta aktörer. Syftet var att identifiera styrbara resurser, förstå lokala behov och skapa förtroende för att möjliggöra deltagande i testerna.

En viktig del av förarbetet bestod i att göra en nulägesanalys genom platsbesök och intervjuer med företag i området. Kartläggningen omfattade bland annat antalet parkeringsplatser och fordonsladdning, typ av industriverksamhet, effektuttag och elanvändningsmönster över dygn, vecka, månad och år. Analysen bidrog till att identifiera potentiella styrbara resurser, både inom laddinfrastruktur och verksamheternas processer.

Initialt fanns ambitionen att inkludera verksamheternas processer för styrning men då det visade sig att kunskapen om flexibilitet var begränsad hos många aktörer har den typen av frågor hanterats mer konceptuellt. Flera företag uttryckte tveksamhet inför att låta styrning ske på resurser kopplade till produktion eller drift, vilket ledde till att testerna i praktiken fokuserades på laddinfrastruktur för elbilar.

För att öka förståelsen och skapa engagemang genomfördes ett flertal informationsinsatser. Projektgruppen arrangerade frukostmöten, lunchträffar och rena informationsmöten där företagen informerades om energiomställningen i samhället i stort, lagkrav på

laddinfrastruktur och projektets syfte. Kommunikationsmaterial togs fram för att öka förståelse och medvetenhet kring projektets genomförande.

Parallellt med detta gjordes en teknisk analys av elnätet för att identifiera lämpliga testkluster. Elnätsanalytiker analyserade belastningspunkter och föreslog testområden utifrån tekniska förutsättningar, tillgång till laddare och förväntad användning. Exempelvis valdes en konferensanläggning där behovet av laddning var högt och infrastrukturen lämpade sig för styrning.

Projektgruppen etablerade även kontakt med mjukvaru- och hårdvaruleverantörer för att undersöka möjligheterna till integration och styrning. Flera fabrikat undersöktes utifrån tekniska förutsättningar, inklusive internationella aktörer, vilket bidrog till att bredda förståelsen för tekniska skillnader och krav.

Sammanfattningsvis var kartläggningen och kompetensuppbyggnaden avgörande för att skapa rätt förutsättningar för Living Lab. Genom dialog, analys och informationsspridning kunde projektet engagera ett brett spektrum av aktörer och lägga grunden för de tester som genomfördes.

## Roller och ansvar

Projektets framgång byggde på en tydlig och väl förankrad rollfördelning mellan de olika identifierade aktörerna som behövdes inom projektet. Redan i planeringsfasen identifierades vilka kompetenser och funktioner som behövdes för att säkerställa både teknisk funktionalitet och effektiv samverkan.

Testledningen hade det övergripande ansvaret för planering, koordinering och genomförande av testerna. Det innebar att utforma testupplägg, säkerställa att alla tekniska komponenter var på plats och att tidsplanen hölls. Testledningen fungerade också som nav för kommunikation mellan de olika teknik- och verksamhetsgrupperna.

Teknikansvariga ansvarade för urval och integration av styrbara laddare samt för kontakten med leverantörer av både hård- och mjukvara. De säkerställde att laddarna hade öppna API:er och att styrsystemen kunde kommunicera med dessa via säkra molntjänster. Teknikansvariga hanterade även integrationen av elmätare med öppna HAN-portar, vilket var avgörande för att möjliggöra realtidsstyrning och datainsamling. Vidare låg det på deras bord att lösa tekniska utmaningar som uppstod, till exempel vid kalibrering och datavalidering eller när mätutrustning behövde bytas ut för att säkerställa kompatibilitet och driftsäkerhet.

Elnätsanalytikerna spelade en central roll i att analysera effektuttag och identifiera kritiska punkter i elnätet. De genomförde tekniska analyser för att välja ut lämpliga testkluster och föreslog områden där styrning av laddning skulle ge störst systemnytta. Deras arbete låg till grund för att dimensionera testerna och för att utvärdera effekterna av styrningen på nätets kapacitet och stabilitet.

Kommunikatörerna ansvarade för informationsinsatser, både internt och externt. De organiserade informationsmöten, tog fram kommunikationsmaterial och såg till att alla aktörer, från fastighetsägare till elbilsanvändare, förstod projektets syfte, teknik och förväntad

påverkan. Kommunikatörerna var också en viktig länk till användarstöd och support, särskilt när det gällde att hantera frågor eller oro kring styrning av laddning.

Supportfunktionen var förberedd på att snabbt hantera tekniska problem och incidenter under testperioden. De upprättade kontaktvägar för felanmälan och såg till att det fanns rutiner för att åtgärda problem med exempelvis laddare, mätare eller kommunikationssystem. Supporten bidrog därmed till att minimera driftstörningar och säkerställa att testerna kunde genomföras enligt plan.

Genom denna tydliga och tekniskt förankrade rollfördelning kunde projektet snabbt identifiera och åtgärda problem, samtidigt som kunskap och erfarenheter från olika aktörer togs tillvara. Det skapade en robust struktur för både genomförande och uppföljning, vilket var avgörande för att lyckas med avancerad effektstyrning i en komplex verklig miljö.

## Testupplägg och metodik

Testupplägget utformades för att stegvis öka både komplexitet och omfattning. Arbetet inleddes med en noggrann planering där testledning, teknikansvariga, elnätsanalytiker, kommunikatörer och supportfunktioner samverkade för att säkerställa att alla tekniska och organisatoriska förutsättningar var på plats.

I testfall valdes att styra via öppna API:er i stället för via öppet kommunikationsprotokoll OCPP. I samarbete med Ngenic utvecklades gränssnitt för styrning och inledningsvis användes laddare av fabrikatet Zaptec. Under projektets gång hanterades fyra laddkluster i två separata loopar och i en tredje loop adderades fabrikatet Easse Charge samt ytterligare två laddkluster. Detta möjliggjorde en detaljerad analys av skillnader mellan olika system och fabrikat.

Valet av laddare baserades på stöd för säkra och standardiserade API:er och molnbaserad styrning, vilket var avgörande för att kunna styra laddning i realtid och samla in detaljerad mätdata. Energimätare kopplades upp via HAN-port på elmätarna vilket möjliggjorde insamling av realtidsdata med 10 sekunders upplösning.

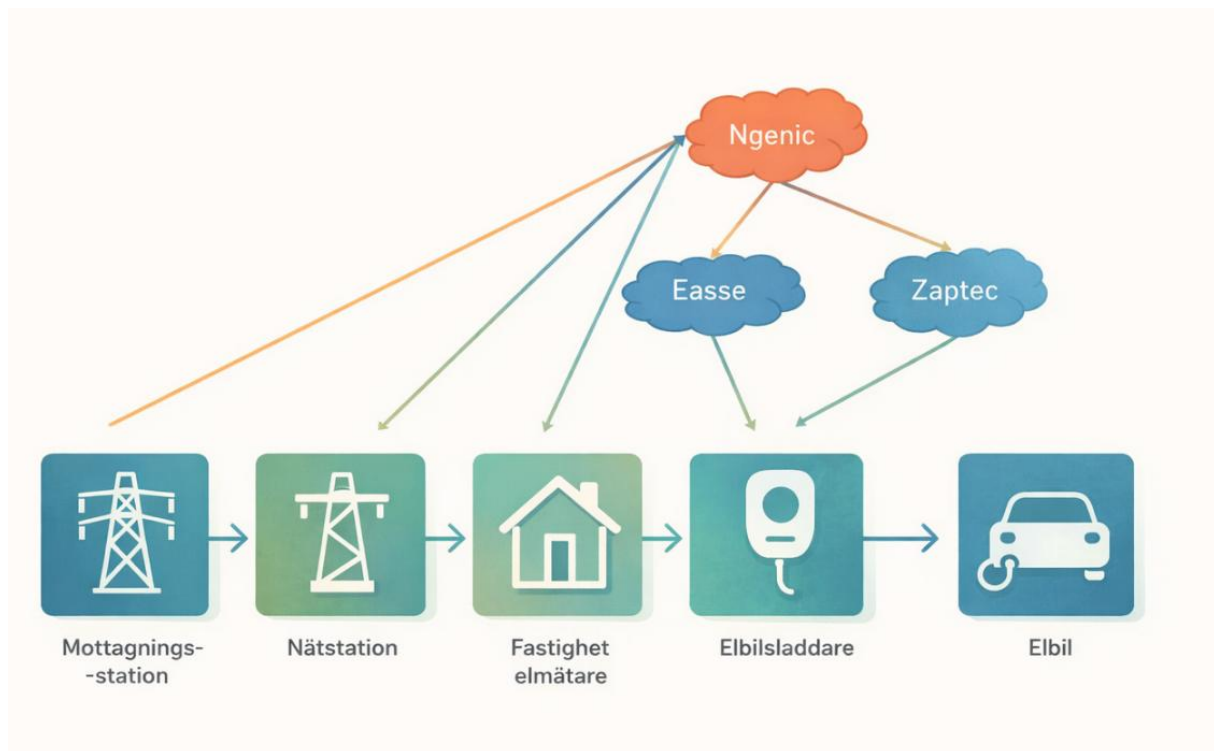


Bild 4: Bilden beskriver systemuppbyggnaden av lösningen

Testerna genomfördes i tre så kallade loopar.

**Loop 1.** Den första testloopen fungerade som ett systemkriterietest, där syftet var att kontrollera att alla tekniska delar och roller samverkade korrekt både individuellt och som ett integrerat system. Under denna fas utvecklades och provades gränssnittet för styrning av laddkluster, samtidigt som energimätare installerades på utvalda punkter för att möjliggöra mätningar i realtid. Testet utfördes med ett begränsat antal laddare och platser och användes framför allt för att säkerställa att systemet klarade grundläggande styrning och datainsamling. Ett installationsfel upptäcktes i en fastighet, vilket ledde till att ingen effekt kunde mätas. Problemet korrigerades inför nästa testomgång.

**Loop 2.** I det andra testet utvidgades omfattningen till fler laddare och laddplatser, där effektstyrning praktiskt provades i flera olika kluster. Fyra grupper med sammanlagt 28 Zaptec Pro-laddare undersöktes, med en teoretisk maxeffekt på 156 kW. Genom att sänka effekten med cirka 30 kW simulerades effektstyrning, vilket var tydligt mätbart i fastighetens elanvändning. Under testerna justerades effekten stegvis upp och ned och mätningar gjordes var tionde sekund för detaljerad data om effektuttag och användarbeteende. Testerna visade att laddningen inte bör dras ner till noll, eftersom detta avbröt sessionen helt hos samtliga bilmodeller. Vid återställning av effekten reagerade bilmodeller på skilda sätt, vissa återstartade direkt med trefasladdning medan andra gick först till enfasladdning och sedan vidare till trefasladdning.

Äldre laddare utan öppna gränssnitt kunde inte inkluderas, vilket understryker vikten av standardiserad teknik och öppna API:er för framtida flexibilitetslösningar.

**Loop 3.** Den tredje testfasen omfattade både en granskning av tidigare erfarenheter och en ökning av antalet laddare och laddplatser, inklusive fler fabrikat samt utökning till fler företag och fastigheter. Totalt genomfördes tester på sex laddkluster bestående av 28 Zaptec Pro-laddare och 16 Easse Charge-laddare, där den högsta möjliga effekten var 200 kW. Effektstyrningen utfördes genom att reducera effekten med cirka 40 kW, vilket gav tydliga utslag på fastigheternas elanvändning.

Under analysen jämfördes olika fabrikat och konfigurationer och det framkom att vissa bilmodeller omedelbart återupptog laddningen efter att effektbegränsningen hade hävts, medan andra fordon krävde antingen en paus eller manuell omstart. Den upprepade testsystematiken bidrog till att snabbt identifiera och lösa tekniska problem, samtidigt som insikter från varje omgång nyttjades i nästa fas.

Loop	Antal kluster/ laddpunkter	Fabrikat	Effektstyrning/ metod	Mätning & Data	Teknisk utmaning	Resultat/ Insikter
1	2 kluster ca 10 laddpunkter	Zaptec Pro	Systemkriterietest, verifiering av styrsystem och komponenter. Styrning via API och molntjänst.	Energimätare installerade på två mätpunkter. Realtidsdata var 10:e sekund via HAN-port.	Felaktig inkoppling av laddkluster upptäcktes och åtgärdades.	Funktionalitet för styrning validerades. Laddsessioner förblev aktiva.
2	4 kluster 28 laddpunkter	Zaptec Pro	Maximal reglerbar effekt 154 kW. Effektstyrning genom att sänka effekten med 30 kW. Simulering av effektoppar.	Mätning av effektuttag på fastigheten. Data samlades in var 10:e sekund.	Vissa bilmodeller avbröt ladd- sessionen vid ingen effekt (0A) men laddsessionen bibehölls vid 1A och återupptog laddning vid 5-6A eller högre, i testen.	Effektstyrning kunde tydligt mätas. Olika bilfabrikat visade olika beteenden vid återstart.
3	6 kluster 40 laddpunkter 7 företag	Zaptec Pro, Easse Charge	Skalning med fler laddare och fabrikat. Effektstyrning och simulering av effektoppar.	Mätdata från flera fastigheter och laddkluster.	Integration av olika fabrikat och parallell hantering. Begränsningar i fordonens logik vid återstart.	Maximal reglerbar effekt ca 200 kW, reglerad effekt ca 40 kW. 99,9 % av resurser styrbara.

Tabell 1: Summering av teknikdelar i testlooparna

Supportteamet var under hela processen centrala för att hantera tekniska utmaningar och incidenter effektivt. Dessutom togs skärmdumpar och effektkurvor fram för att illustrera variationerna i effekt under testperioden, vilket användes både vid tekniska analyser och i kommunikationen av resultat till de berörda parterna.

För att denna typ av aktivitet skulle kunna genomföras krävdes samverkan mellan flera olika aktörer med tydligt definierade roller. Elnätsföretaget ansvarade för inmatningen till den så

kallade ”Ministaden”, där kritiska inmatningspunkter hade identifierats utifrån befintliga kapacitetsbegränsningar i nätet. Elnätsägaren bidrog genom att styra elanvändningen på en mer övergripande nivå, medan elabonnemangsägaren, i form av antingen hyresgäst eller fastighetsägare, stod som formell part för själva elanvändningen.

Utöver dessa aktörer spelade även leverantörer av både mjukvara och hårdvara en central roll. Assemblin Charge och Ngenic var de parter som utvecklade mjukvarulösningar för laddstyrning, medan olika fabrikatörer av laddstolpar bidragit med kunskap om sin hårdvara om inkluderades i testerna. Den sista och kanske mest avgörande länken i kedjan är elbilsägaren, vars fordon utgör själva slutpunkten i laddkedjan.

Aktör	Roll i testkörningarna	Behov och bidrag
<b>Elnätsägare</b>	Ansvarade för inmatning och övergripande styrning av elnätet.	Kunde öka kapaciteten i nätet och avlasta kritiska punkter genom flexibel laststyrning. Fick bättre kontroll och kunde skjuta upp investeringar i nätutbyggnad.
<b>Fastighetsägare / Elabonnemangsägare</b>	Optimerade elanvändning inom sina fastigheter och ansvarade för abonnemang.	Kunde införa fler laddpunkter utan att öka abonnemangsnivån. Fick möjlighet till lägre säkringsnivå och minskade kostnader genom smart styrning.
<b>Mjukvaruleverantör</b>	Utvecklade styrsystem och integrationer (t.ex. Ngenic, Assemblin Charge).	Fick nya insikter och kunde utveckla affärsmodeller för styrning och flexibilitet. Bidrog till standardisering och interoperabilitet.
<b>Hårdvaruleverantör</b>	Levererade laddare och elmätare med öppna gränssnitt.	Såg behov av öppna API:er och standardiserad teknik. Äldre modeller utan öppna gränssnitt kunde inte inkluderas i styrningen.
<b>Elbilsägare / Slutanvändare</b>	Använde laddinfrastrukturen och påverkades av styrningen.	Upplevde ingen negativ påverkan på laddningsmöjligheter. Flexibiliteten skedde utan att användarupplevelsen försämrades.

Tabell 2: Aktörers roll inom de olika looparna.

## Genomförande

En utmaning var att fastställa vilka resurser som faktiskt var tillgängliga att styra vid en given tidpunkt. Osäkerheten gällde inte bara resursens faktiska tillgänglighet utan också hur styrningen kunde påverka annan verksamhet hos respektive aktör. Kunskapen om dessa samband var ofta begränsad, vilket innebar att omfattande informationsinsatser behövdes. För att skapa förståelse och incitament att delta i Living Lab krävdes därför både dialog och kunskapspridning. Genom detta kunde fler aktörer bidra med styrbara resurser, vilket i sin tur ökade den totala effekten. Totalt omfattade projektet sex laddkluster fördelade över tre elserviser och flera abonnenter. För att lösa praktiska problem och bygga förtroende hölls flera informationsmöten med inblandade aktörer.

Vid installation och driftsättning uppstod vissa utmaningar. Exempelvis hade vissa laddkluster kopplats in felaktigt, vilket krävde ominstallationer i fastigheter innan systemet kunde fungera som avsett. Endast standardlösningar via HAN-port kunde enkelt kopplas upp till SOA (Service Oriented Architecture) till tjänstelager för Living Lab. Större mätare krävde särskild mätutrustning och mer omfattande hantering, vilket försvårade möjligheten till momentan mätning och därmed den löpande styrningen.

Effektstyrning utfördes genom att sänka och återställa laddningseffekt i olika effektsteg. Mätningar gjordes var 10:e sekund för att få detaljerade data om effektuttag. Skärmdumpar och Excel-exporter användes för att visualisera variationer i effekt under testförloppet. Bilar av olika fabrikat användes för att analysera skillnader i beteende vid styrning.

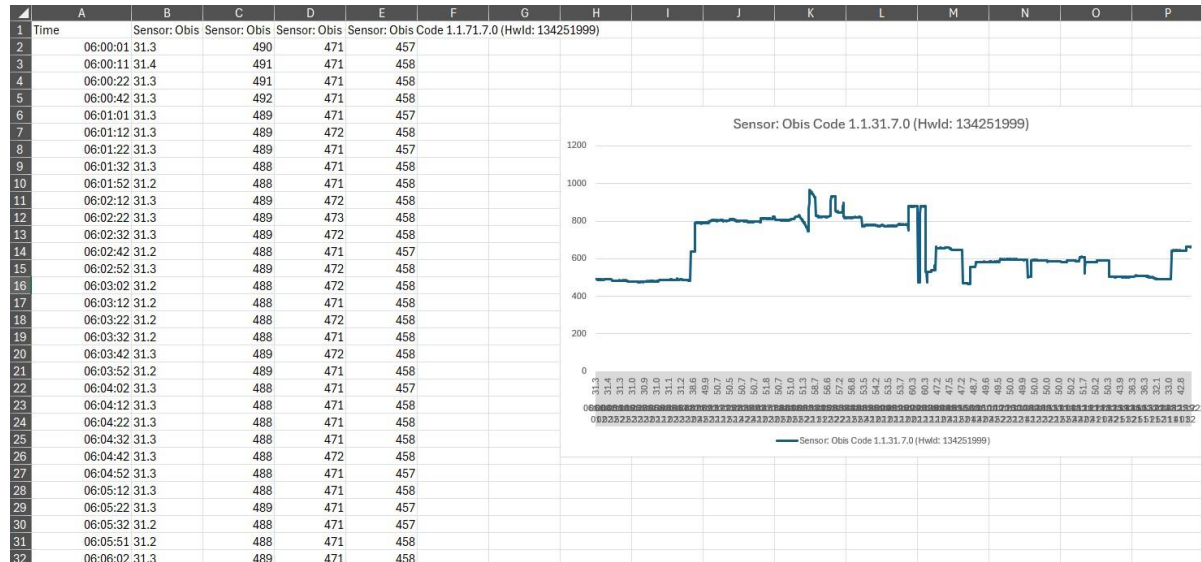


Bild 5: Skärmdump av effektvariationerna vid en av testkörningarna.

Regleringen av laddarna fungerade väl och sessionerna förblev aktiva under hela testperioden. Vissa bilar återstartade snabbt i trefas efter effektbegränsning, medan andra gick över från trefas till enfas vid nedreglering och behövde tid innan de återgick upp till trefasdrift igen när effekten åter ökades. Tester av Zaptecs laddare visade att dessa gick direkt upp till trefasdrift när få bilar var anslutna, men behövde stegvis uppreglering när många bilar var uppkopplade.

Bilarna uppvisade olika beteenden beroende på tillverkare och programmering. Detta innebar att både uppstartstiden och vilken fasdrift som användes varierade.

En central förutsättning för fungerande styrning var att laddstolparna var uppkopplade mot tredjepartssystem, använde öppna kommunikationsprotokoll och var styrbara via molntjänster. Elmätarna behövde ha öppna HAN-portar för att möjliggöra energimätning. Projektet visade att 99,9 % av styrbara resurser gick att styra, men det var inte möjligt att helt styra ner all effekt i området om styrbarheten kring inmatningspunkten skulle kunna bibehållas. Det visade sig att laddningen inte kunde sänkas ända till noll, eftersom vissa bilmodeller då avbröt laddsessionen helt. När denna insikt erhöles och effekten inte begränsades till noll kunde effekten åter regleras. Därför behövdes effekten hållas på en nivå som säkerställde fortsatt kontroll och flexibilitet.

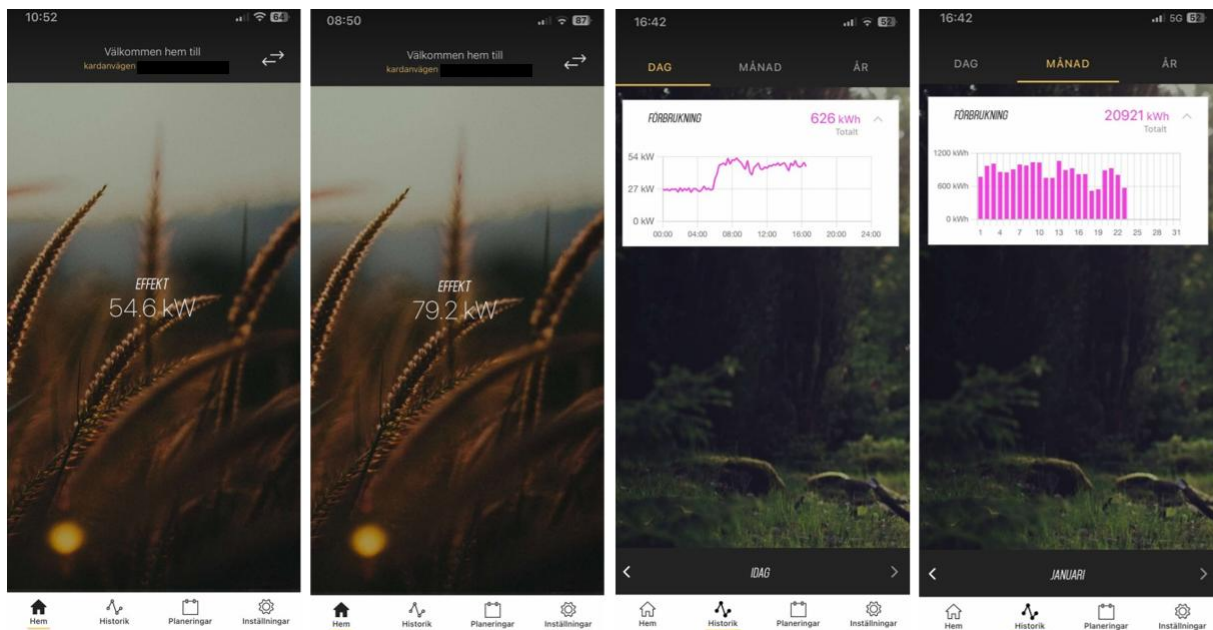


Bild 6: grafiskt gränssnitt vid inloggning till de olika uppkopplade laddklustren.

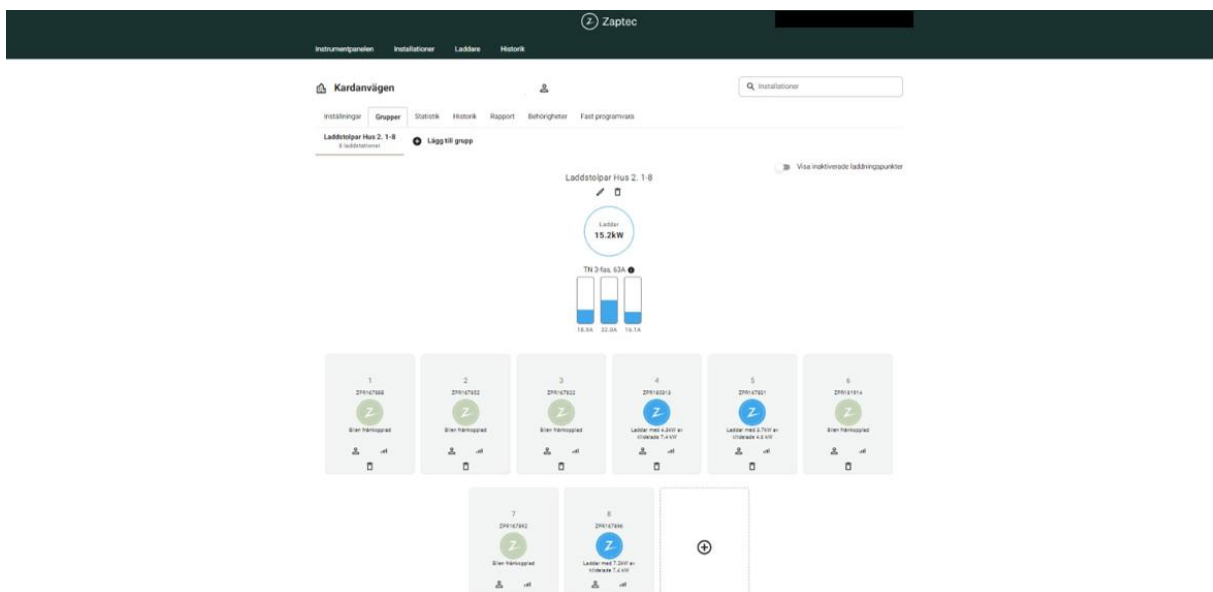


Bild 7: Skärmdump av ögonblicksbild över aktiva laddare och dess momentana effektuttag i ett av laddklustren.



öppna API:er eller OCPP har däremot inte kunnat inkluderas, vilket tydligt synliggjort vikten av öppna gränssnitt för att möjliggöra framtida styrning och integration.

### **Elbilsägare**

För elbilsägarna har projektet inte inneburit någon märkbar påverkan. Ingen negativ återkoppling eller synpunkter har framförts, vilket indikerar att styrningen inte har påverkat deras användning av fordonen. Detta kan delvis förklaras av att laddinfrastrukturen inte är av snabbladdningskaraktär och att elbilsägare därmed inte har någon förväntan om full effekt under hela tiden under varje laddtillfälle.

### **Observationer**

Regleringen av laddning fungerade väl och sessionerna förblev aktiva under hela testperioden. När effekten stryptes ned till ett minimum framkom dock viktiga insikter.

- Laddningen kunde inte sänkas till noll, eftersom vissa bilmodeller då avbröt laddsessionen helt och inte alltid startade om automatiskt när effekten återställdes. Detta berodde på fordonens logik snarare än på laddinfrastrukturen.
- 99,9 % av effekten hos styrbara resurser styrdes effektivt.
- Tester av Zaptecs laddare visade att de gick i trefasdrift när få bilar var anslutna, men att olika bilmodeller uppvisade olika beteenden vid återstart och fasdrift efter effektbegränsning.
- En central förutsättning för fungerande styrning var att laddstolparna kopplades upp mot tredjepartssystem, använde öppna kommunikationsprotokoll och styrdes via molntjänster.

### **Avslutande insikter**

Testmetodiken visade att styrning kan ske utan negativ påverkan på användarupplevelsen. Flexibilitet i laddinfrastrukturen var tekniskt möjlig och kan bidra till kostnadsoptimering och kapacitetsavlastning. En repetitiv teststruktur med tydlig rollfördelning och teknisk uppföljning är avgörande för framgångsrik implementering.

## **Systemnytta**

Systemnyttan med flexibilitet i elnätet är betydande både ur ett tekniskt och samhällsperspektiv. Genom att bättre utnyttja befintlig infrastruktur kan behovet av nya nätstationer och omfattande nätutbyggnad skjutas upp eller helt undvikas. Detta innebär direkta kostnadsbesparingar för elnätsägare, som annars skulle behöva investera i kapacitetsökningar för att möta tillfälliga effektoppar. I stället kan resurserna styras så att belastningen på nätet jämnas ut över tid, vilket leder till ett mer stabilt och energieffektivt elsystem. Som demonstrerats, visas att flexibilitet i ett lokalt avgränsat område är möjligt utan negativ påverkan på elbilsägaren. Möjligheter till systemnytta har påvisats.

För fastighetsägare innebär flexibilitet möjligheten att införa fler laddpunkter inom ramen för befintligt abonnemang, utan att överskrida abonnemangsgränsen. Detta ger en ökad attraktivitet för fastigheten och kan även leda till lägre abonnemangsavgifter, särskilt när nya

prismodeller med effektkomponent införs. Genom att minska effekttoppar och optimera elanvändningen kan fastighetsägare både sänka sina kostnader och frigöra kapacitet till annan utrustning eller nya verksamheter, utan att behöva utöka huvudsäkring.

På samhällsnivå bidrar flexibilitet till en smidigare energiomställning. När fler aktörer kan dela på befintlig nätkapacitet och anpassa sin elanvändning efter systemets behov, minskar risken för flaskhalsar och överbelastning. Detta är särskilt viktigt i takt med att elektrifieringen av transporter och industri ökar och när ny elproduktion ofta är väderberoende och fluktuerande. Genom att utjämna effektuttaget lokalt kan elnätsägare och kunder tillsammans minska behovet av elimport till Sverige från Europa när effektbehovet är stort. Eftersom denna import ofta kräver att fossilbaserade produktionsanläggningar startas, bidrar ökad flexibilitet i elanvändningen till minskade koldioxidutsläpp genom att effektuttaget i elnätet reduceras. Samtidigt förbättras förutsättningarna för nya anslutningar och etableringar i området, eftersom elnätets kapacitet utnyttjas mer effektivt.

Systemnyttan omfattar också möjligheten att minska effekttoppar, vilket i sin tur leder till ett mer robust och resilient elsystem. För elnätsägare innebär detta minskade investeringar och bättre kontroll över nätets kapacitet. För fastighetsägare och verksamhetsutövare ger det ökad flexibilitet och möjlighet till kostnadsoptimering. För samhället i stort innebär det att energiomställningen kan ske snabbare och mer kostnadseffektivt med bibehållen leveranssäkerhet och minskad klimatpåverkan.

En fastighetsägare kan, genom ett medvetet agerande, bidra till systemnytta genom att ta hänsyn till nätägarens nätutvecklingsplan i sin planering av åtgärder i områden som ses som mest kritiska. Det finns således flera sätt som en fastighetsägare kan bidra till ett mer robust och hållbart elsystem och dessutom sänka sin effektagift.

Sammanfattningsvis visas att systemnyttan av lokal flexibilitet är stor och att tekniska lösningar för styrning av laddinfrastruktur och andra styrbara laster kan ge konkreta vinster för både enskilda aktörer och hela energisystemet. På samhällsnivå innebär detta att energiomställningen kan ske snabbare och mer kostnadseffektivt, samtidigt som leveranssäkerheten bibehålls och klimatpåverkan minskar.

## Framtidsmöjligheter

De erfarenheter och resultat som har genererats visar på flera tydliga framtidsmöjligheter för såväl fastighetsägare, elnätsägare, leverantörer och samhället i stort.

Elnätsägare kan dra nytta av insamlade data och resultat från dessa tester för att utveckla avancerade modeller för lokal balansering och effektoptimering. När flexibilitet integreras i affärsmodellerna för både elnätsbolag och tjänsteföretag öppnas nya möjligheter för samverkan och innovation. Ökad flexibilitet bidrar till nyttor för både elnätet och dess ägare, bland annat genom jämnare belastning och reducerade effekttoppar. Minskade toppar frigör kapacitet, vilket i sin tur sänker investeringsbehovet samt minskar kostnader relaterade till överliggande och angränsande nät.

För mjukvaruleverantörer öppnar projektet upp för utveckling av nya tjänster och affärsmodeller inom effektoptimering och flexibilitet. De insikter som erhållits kring integration, styrning och datainsamling skapar förutsättningar för att erbjuda avancerade styrsystem och digitala plattformar som kan hantera både tekniska och affärsmässiga krav. Hårdvaruleverantörer ser samtidigt ett ökat behov av öppna gränssnitt och standardiserad teknik eftersom äldre modeller utan öppna API:er inte kan inkluderas på ett lika enkelt sätt i framtidens flexibla system. Mjukvaruleverantörer och hårdvaruleverantörer arbetar med att utveckla sina produkter för så kallad smarta laddlösningar som i framtiden kan bidra till att balansera elnätet genom att både använda och leverera el till nätet, så kallad dubbelriktad laddning eller vehicle-to-grid.

För elbilsägare är det avgörande att styrningen sker utan negativ påverkan på användarupplevelsen. Projektet visar att detta är möjligt, vilket är en viktig förutsättning för bred implementering och acceptans. Elbilstillverkare arbetar med att utreda hur samverkan mellan fordon och elnät kan ske och i framtiden. Omvärldsanalys visar potential för intäktsmöjligheter framöver även för elbilsägaren genom att sälja flexibilitetstjänster.

Historiskt sett har fastighetsägare främst fokuserat på att minska energianvändningen och inte lika mycket på att minska effektbehovet. Framöver ses större nytta för fastighetsägare att installera smart styrning av elanvändningen för att stärka sin konkurrenskraft och minska risken för höga effektavgifter. Genom att använda tekniska lösningar för laststyrning, tidsstyrning, energilagring eller lokal energiproduktion frigörs kapacitet till exempelvis utbyggd fordonsladdning och annan verksamhet utan att abonnemangsgränsen överskrids. Vid nybyggnation finns möjligheten att redan från början planera för styrbar utrustning och integrera lösningar för lagring eller egen produktion för att minska både köpt energi och effektuttag. Slutligen innebär ökad kunskap om effektstyrning och flexibilitet att fastighetsägare kan bli mer attraktiva hyresvärdar och hyresgästen får bättre förutsättningar och stärkt konkurrenskraft att driva sin verksamhet.

Inom ramen för projektet har tester genomförts i begränsad omfattning och det bedöms för närvarande ekonomiskt utmanande att etablera en lokal flexibilitetsmarknad. På längre sikt kan dock möjligheterna öka om verksamheter expanderar och inkluderar fler typer av styrbara resurser, såsom värme- och ventilationssystem. Detta skulle potentiellt kunna leda till ökade tekniska och ekonomiska fördelar. Införandet av effektavgifter bedöms sannolikt senarelägga behovet av lokala flexibilitetsmarknader något.

Sammanfattningsvis visas att framtidsmöjligheterna är stora, särskilt om lösningarna kan skalas upp och integreras i fler områden och sektorer. Genom fortsatt samverkan mellan teknik, affärsmodeller och samhällsplanering kan flexibilitet bli en nyckelfaktor för ett hållbart och robust elsystem.

## Projektets utmaningar

Projektet ställdes inför flera utmaningar, både tekniska och organisatoriska, under genomförandet av Living Lab i Trollhättan. En av de mest grundläggande utmaningarna var att säkerställa att all teknik fungerade som avsett i en komplex verklig miljö. Redan i den första testloopen upptäcktes exempelvis installationsfel i fastigheter, vilket ledde till att inget

effektuttag kunde mätas. Sådana tekniska problem krävde snabba åtgärder och visade på vikten av noggrann planering och uppföljning.

Projektet mötte även utmaningar kopplade till mätinfrastruktur och datainsamling. Endast elmätare med öppna HAN-portar kunde smidigt kopplas upp till styrsystemet, medan större mätare krävde särskild utrustning och mer omfattande hantering. Detta försvårade möjligheten till realtidsmätning och löpande styrning och visade på behovet av standardisering även på mätsidan.

En ytterligare svårighet var att fastställa vilka resurser som faktiskt var tillgängliga att styra vid en given tidpunkt. Osäkerheten gällde inte bara resursens faktiska tillgänglighet, utan också hur styrningen kunde påverka annan verksamhet hos respektive aktör. Många aktörer hade begränsad kunskap om flexibilitet och uttryckte tveksamhet inför att låta styrning ske på resurser kopplade till produktion eller drift. Detta ledde till att testerna i praktiken ofta fokuserades på laddinfrastruktur snarare än verksamhetsnära processer.

En betydande utmaning var att hantera variationer mellan olika bilmodeller och laddarfabrikat. Genom tester framkom att vissa fordon avbröt laddsessionen om effekten reducerades till noll och att återstart efter effektbegränsning varierade avsevärt mellan olika modeller. Detta underströk vikten av teknisk anpassningsförmåga, förståelse för fordonsspecifik logik samt behovet av standardiserade gränssnitt och öppna API:er för att möjliggöra övergripande styrning. Att utveckla en teknisk arkitektur som kombinerar robusthet och flexibilitet visade sig vara komplext, särskilt med tanke på tekniska skillnader och användarbeteenden.

Kommunikationen och engagemanget bland deltagande aktörer var också en utmaning. För att skapa förståelse och incitament att delta krävdes omfattande informationsinsatser, dialog och kunskapsspridning. Projektgruppen arrangerade möten, tog fram informationsmaterial och etablerade kontaktvägar för support och felanmälan.

Sammanfattningsvis låg projektets utmaningar i att kombinera teknisk innovation med praktisk implementering, att hantera variationer i teknik och användning och att skapa engagemang och förståelse hos alla inblandade aktörer. Dessa erfarenheter har varit avgörande för att utveckla fungerande och skalbara lösningar för framtidens flexibla elsystem.

## Måluppfyllnadsgrad

Projektet har haft flera tydliga mål, där ett av de viktigaste varit att lösa ett specifikt områdes problem med höga laster i en så kallad "ministad", en miljö som kombinerar verksamheter och boende och är representativ för många svenska kommuner och industriområden.

Projektets resultat är skalbara och användbara nationellt. Ett konkret mål har varit att minska toppeffekten med minst 10 % genom smart laddning och flexibilitet. Andra mål har varit att utveckla och testa affärsmodeller och tekniska lösningar för dynamisk effektallokering, skapa skalbara resultat, undersöka möjligheter och hinder för ökad laddinfrastruktur utan att öka det totala effektuttaget samt bidra med kunskap och modeller för optimering av elnätscapacitet, användning, lagring och produktion.

- **Minskad toppeffekt:** Projektet har påvisat att det är möjligt att sänka toppeffekten med minst 10 % genom intelligent styrning och utnyttjande av flexibilitet. Fälttester har verifierat att laddstyrning kan genomföras utan försämring av användarupplevelsen, vilket är en avgörande faktor för bredare implementering. För elbilsladdning finns framgångsrika exempel där individuella laddsessioner reducerats med över 80 %. Det bör dock betonas att flera aspekter behöver tas i beaktande vid en storskalig utrullning, anpassat till varje industriområde.
- **Affärsmodeller och tekniska lösningar:** Utveckling och utvärdering av nya affärsmodeller och villkorade avtal för dynamisk effektallokering har hittills varit begränsad. Projektet har dock tagit fram tekniska lösningar baserade på öppna API:er och molntjänster, vilket skapar förutsättningar för skalbarhet, integration samt framtida affärsmodeller. För närvarande har efterfrågan på flexibilitet bland kunder inte varit tillräckligt stor för att etablera en fungerande marknadsbaserad flexibilitetsmarknad och intresset har hittills varit lågt, vilket har begränsat utvecklingen mot lönsamma volymer och tjänsteutbud. Prognoser visar dock på ett ökat intresse inom området under de kommande fem åren. Det är ekonomiskt fördelaktigt att välja laddlösningar som är uppkopplingsbara, kompatibla med säkra, öppna och standardiserade API:er samt möjliggör att tredjepartsaktörer kan agera som operatörer.
- **Skalbara resultat:** Genom att arbeta i en miljö som är representativ för många svenska kommuner och industriområden har projektet säkerställt att resultaten är skalbara och kan användas nationellt.
- **Laddinfrastruktur utan ökat effektuttag:** Genom att optimera olika laddkluster beroende av varandra kommer dessa laddklusters gemensamma påverkan på elnätet begränsas. Detta ger en uppskattad potentiell ökning av laddare i området med ca 20-40%.
- **Kunskap och modeller:** Ett betydande kunskapslyft har skett hos alla inblandade aktörer och projektet har bidragit med nya modeller för optimering av elnätskapacitet, användning, lagring och produktion. Erfarenheterna används nu som modell för liknande satsningar i andra regioner. Kunderna har inte märkt av nedjusteringar av effekt, mycket på grund av att de inte förväntar sig en hög laddeffekt och deras förväntad på en fullt laddad bil efter en arbetsdag har inte påverkats.

Sammanfattningsvis har projektet i hög grad uppfyllt sina uppsatta mål. De konkreta resultaten, de tekniska lösningarna samt det breda kunskapslyftet visar att projektet har levererat enligt intentionerna och skapat förutsättningar för fortsatt utveckling och uppskalning av flexibilitetslösningar i svenska lokala elnät.

## Slutsatser

Living Lab har tydligt visat att flexibilitet i elnätet fungerar i praktiken och ger positiva effekter på kapacitetsutnyttjandet, utan att påverka användarupplevelsen negativt. Genom att kombinera teknisk innovation med samverkan mellan elnätsägare, fastighetsägare, teknikutvecklare och andra aktörer har projektet utvecklat robusta och skalbara lösningar för framtidens elsystem. Tester med olika laddfabrikat har visat att öppna API:er och standardiserad uppkoppling är avgörande för att möjliggöra styrning och integration, vilket nu är en självklarhet för framtida flexibilitetslösningar.

Projektet har också synliggjort betydelsen av god samverkan mellan aktörer och har lett till ett betydande kunskapslyft hos såväl teknikutvecklare, fastighetsägare, elnätsbolag som kommunala tjänstepersoner och beslutsfattare. Den ökade förståelsen för både tekniska och organisatoriska utmaningar har förbättrat dialogen mellan näringsliv och offentlig sektor och ökat aktörers förmåga att fatta välgrundade beslut i komplexa elsystem samt att lösa intressekonflikter.

De utmaningar som uppstod, exempelvis installationsfel, varierande beteende mellan olika bilmodeller, behovet av standardiserad mätinfrastruktur har inte bara lösts under projektets gång, utan har också gett viktiga insikter som nu kan användas för att förbättra framtida implementeringar. Det som initialt upplevdes som hinder har därmed blivit en källa till lärande och utveckling.

För framtiden ligger fokus på att skala upp arbetet, visualisera nyttan genom mätdata och utveckla affärsmodeller som skapar incitament för deltagande i flexibilitetslösningar. Ett fossilfritt samhälle är en stor omställning för industrier och transporter och projektet visar att flexibilitetslösningar är en nyckel för att möta utmaningar med fluktuerande och väderberoende elproduktion, långsamma tillståndprocesser och behovet av att undvika överdimensionering av elnätet för kortvariga effekttoppar.

Projektet har särskilt visat att lokal styrning av elanvändning kan ge konkreta kostnadsbesparingar för både elnätsägare och kunder. Testet har varit i liten omfattning vad gäller effekt och ström men det har goda möjligheter att skalas upp då kluster av elbilsladdare är vanligt förekommande och resultaten från projektets Living Lab kan tillämpas på fler områden. Sammanfattningsvis visade testmetodiken att styrning av elbilsladdning kan ske utan negativ påverkan på användarupplevelsen, förutsatt att tekniken är rätt utformad och att roller och ansvar är tydligt definierade. Flexibilitet i laddinfrastrukturen är tekniskt möjlig och kan bidra till både kostnadsoptimering och kapacitetsavlastning i elnätet.

