

# Morgondagens Mobilitetshus: systemmodellering och experiment med fokus på tekniska och sociotekniska aspekter

Publik rapport



Författare: Valeria Castellucci

Datum: 21-11-2022

Projekt inom System-av-system för mobilitet i städer (SoSSUM)

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary in English.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod .....</b>	<b>5</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>6</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>6</b>
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>8</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	8
7.2 Publikationer.....	8
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>8</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>9</b>

## Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi).

# 1 Sammanfattning

Uppsala Parkerings AB (UPAB) byggde det första smarta parkeringshuset i Uppsala, utrustade med såväl elektriska laddstationer som förnybar elproduktion och lagring av el. Parkeringshuset, Dansmästaren, öppnade år 2020, ett år efter projektstart. Liknande parkeringshus, med behov av komplexa energilösningar, väntas uppföras över hela landet under kommande decennier i takt med en växande elektrifierad fordonsflotta liksom effektiviserad användning av markyta för parkering. Forskningen som vi har genomfört är viktig, eftersom den bidrar till en vetenskaplig förståelse av systemprestanda och dynamik, samt för att öka kunskapen om elbilsägarnas beteende och inverkan av incitamentsmodeller. Uppsala universitet (UU) och STUNS Energi, tillsammans med UPAB, analyserade prestanda hos några av de smarta möjliga lösningar som kan implementeras i Dansmästaren i syfte att stödja utvecklingen av framtida så kallade mobilitetshus. Projektpartners samarbetade för att utveckla framtida lösningar för laddinfrastruktur av elfordon, samt incitament och strategier riktade mot elbilsägare i syfte att stärka ökad flexibilitet gällande laddning av elfordon. Samspelet mellan parkeringsgarage, elbilsägarna och teknik för förnybar energi, tillsammans med smarta strategier och ekonomiska incitament genererar positiva effekter på det lokala elnätet. Resultaten av det storskaliga projektet erhöles genom modellering och experiment, både utifrån tekniska och sociotekniska perspektiv. Vikten av detta arbete bevisas också av att det ledde till nya partnerskap med fordonsindustrin och forskningsinstitut. Dessutom startar ett uppföljningsprojekt värt cirka 10 miljoner kronor i Januari 2023.

## 2 Executive summary in English

Given the increasing number of electric vehicles (EVs) on the market, sustainable mobility solutions are required. EVs are a key to keep the emissions low and meet the global goals of decarbonization, but - among others - cities need to provide proper infrastructure to facilitate the transition to EVs and, as a consequence, encourage automotive industries to develop eco-friendly products. In order to use the city space in a sustainable and energy-efficient way, while providing the infrastructure to accommodate the increasing number of EVs, a solution that has been proposed is to build smart mobility houses, i.e., car parks which are able to cope with the rising energy demand thanks to a combination of cutting-edge technologies for production and storage of electricity, and new business models based on incentive programs.

At the same time, issues related to power supply and supply security are increasing challenges. The substantial growth of intermittent electricity production, electrification and the subsequent requirement of rapid charging of EVs, as well as urbanization, have contributed to increasing the mismatch between demand and available power during peak hours, which might even limit community development and economic growth.

Expensive reinforcements of the power grid are possible but cannot solve the problems in time. Increased flexibility in both power production and consumption is therefore necessary to meet these challenges.

The Vinnova-financed project contributed to develop solutions for an EVs charging infrastructure, as well as incentives and strategies aimed at electric car owners to achieve increased flexibility during charging. Hence, the studies conducted within the project are based on modeling and experiments, both from technical and socio-technical perspectives. The project was conducted on a specific urban mobility application, and the analyses were focused on the mobility house called Dansmästaren, located in Uppsala, which opened a year after the project started. This gave the researchers and project partners time to influence some choices of technical equipment to be installed in the parking garage. Afterwards, we built energy system models, incentive

models, investigated engagement strategies for EV owners, and began experiments with the implementation of smart technologies and different control strategies.

The project's results increase knowledge about the interaction between energy subsystems in a smart parking garage in order to minimize the extra load on the local electricity grid. We have developed simulation models that describe the energy flow in the parking garage and that determined the theoretical potential for peak shaving and load levelling thanks to flexibility strategies. The project compiled incentives and preferences for electric car charging among electric car owners and contributed to develop an App for smart charging together with Uppsala Smart Energy Research group (USER). Measurement and communication systems that can monitor the energy flow in mobility houses are installed and the data collection for the data analysis and model validation is underway. A Research Twin at the university lab has been installed in order to carry out preliminary tests on V2X.

Moreover, the financed project aimed at increasing the Swedish capacity for research and innovation and promote cooperation between industry and universities. We have had a close collaboration with the project partners UU, STUNS and UPAB throughout the 3-year project, strengthening the cooperation between the public sector and academia. Moreover, the project led to a collaboration with RISE and USER. USER's overall aim is to increase general knowledge about the role of electricity consumers and prosumers in the realization of the vision of the smart electricity grid of the future. The interest for this project reached other stakeholders, including representatives from the private sector. This resulted in a follow-up project that will start in 2023 in collaboration with, among others, Volvo Cars, CEVT and the Swedish Electromobility Centre. During the 3-year time, we have published a number of scientific and peer-reviewed conference and journal articles, and we have supervised thesis works connected to the project.

The project has contributed to FFI's goals in various ways. The project showed that different systems that cooperate with each other can together create better effects than individual systems can do. We investigated one of the challenges in urban transport systems, which can contribute to transport efficiency and resource utilization. The project explored strategies for smarter urban mobility, identified the potential for increased efficiency, contributed to increase knowledge in the field, investigated a concrete application of smart urban mobility, collaborated with an active network of actors both within and outside the automotive sector. Finally, the project contributes to FFI's goals of livable cities, environment and industrial competitiveness, always with safety and security in mind.

### **3 Bakgrund**

Uppsala förväntas växa med cirka 130 000 personer år 2050 och kommunen arbetar med hållbar stadsutveckling för att uppnå FN:s globala mål #11 om hållbara städer och samhällen. I maj 2018 antog Uppsala Energiprogrammet 2050 som sätter de ambitiösa målen att uppnå ett fossilfritt Uppsala 2030 och ett klimatpositivt Uppsala 2050.

Bland annat krävs hållbara mobilitetslösningar: elfordon är en nyckel för att hålla utsläppen låga, men städer måste tillhandahålla ordentlig infrastruktur för att underlätta övergången till elbilar och som en konsekvens uppmuntra bilindustrin att utveckla miljövänliga produkter. För att använda stadens yta på ett hållbart och energieffektivt sätt och samtidigt tillhandahålla infrastrukturen för att ta emot det ökande antalet elbilar, är en lösning att bygga smarta mobilitetshus. Mobilitetshusen är parkeringar som kan hantera den ökande efterfrågan på energi tack vare en kombination av teknologier för produktion och lagring av el, och nya affärsmodeller baserade på incitamentsmodeller.

Samtidigt ökar frågor som rör elförsörjning och försörjningstrygghet utmaningar i flera svenska städer. Den kraftiga ökningen av intermittent elproduktion, elektrifiering och det efterföljande

kravet på snabbaddning av elbilar, samt urbanisering, har bidragit till att öka obalansen mellan efterfrågan och tillgänglig kraft under rusningstid, vilket till och med kan begränsa samhällsutvecklingen och ekonomisk tillväxt. Trenden är liknande i andra svenska städer och förväntas växa snabbt framöver. Dyra förstärkningar av elnätet är möjliga men kan inte lösa problemen i tid. En ökad flexibilitet i både kraftproduktion och förbrukning är därför nödvändig för att möta dessa utmaningar. Förväntade resultat från det föreslagna projektet inkluderar hur det ytterligare effektbehovet från framtida parkeringshus och laddningen av den växande elbilsflottan kan minimeras.

För att skapa ett fungerande mobilitetshus bör inte bara tekniska utan även miljömässiga, sociala och ekonomiska aspekter beaktas. Ur miljösynpunkt kan ett brett utbud av lokala lösningar för generering av ren energi antas. Ur social synvinkel krävs studier av beteendemönster och effekterna av olika incitamentmodeller. Ur ekonomisk synvinkel behövs affärsmodeller för långsiktig hållbarhet och för att skala upp teknologierna.

Nuförtiden är en viktig prioritering för Uppsala hur stadens begränsade ytor och fysiska resurser ska tas tillvara. I syfte att upprätthålla denna prioritering bygger Uppsala Parkerings AB (UPAB) nya parkeringar som ska användas som testbäddar för teknik och avancerade systemlösningar för hållbar stadsutveckling. Den första parkeringen, Dansmästaren, öppnade 2020, medan den andra parkeringen, Brandmästaren, byggs just nu och flera parkeringar ska byggas inom en snart framtid.

Mobilitetshuset Dansmästaren är unikt eftersom det är en del av en multifunktionell fastighet som inkluderar en livsmedelsbutik och studentbostäder. Parkeringen har cirka 500 parkeringsplatser, varav 60 utrustade med elektriska laddstationer. Två uppsättningar av solpanelssystem installerades på taket av byggnaden: en uppsättning standard monokristallina solpaneler och en uppsättning bifacial paneler, som kan absorbera bestrålning från båda sidor av solcellsmodulerna. Dessutom installerades ett batteripaket (137 kWh) för att lagra solenergin och jämna ut effektoppar i konsumtionen.

## 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med det Vinnova finansierade projektet var att utveckla lösningar för en laddinfrastruktur av elfordon, samt incitament och strategier riktade mot elbilsägare i syfte att uppnå ökad flexibilitet gällande laddning av elfordon. Projektet fokuserade på mobilitetshuset Dansmästaren som öppnade ett år efter projektstart.

Viktiga forskningsfrågor som projektet analyserade var: Hur kan systemet modelleras? Hur kommer systemet att fungera? Hur ska energisystemet utvecklas och styras för att minska den elektriska belastningen på staden, eller till och med stödja stadens elnät? Hur kan energilagret påverka de dagliga topparna i energiförbrukning? Vilka smarta styrstrategier kan vi implementera för att förbättra systemet? Vilka monetära och icke-monetära incitament och/eller engagemangsstrategier kan implementeras för att motivera EV-användare att erbjuda laddningsflexibilitet?

För att svara de frågorna, byggde vi energisystemmodeller, incitamentsmodeller, undersökte vi strategier för engagemang för elbilsägare och påbörjade vi experiment med implementering av smarta teknologier och olika styrstrategier.

## 5 Mål

Målet för projektet var att erhålla modellering och experiment, både utifrån tekniska och sociotekniska perspektiv. Dessutom var målet att undersöka en viss urban mobilitetsapplikation, bidra till att öka den svenska kapaciteten för forskning och innovation och främja samarbetet mellan industri och universitet. Projektet främjar samarbetet mellan projektparterna (UU, STUNS och UPAB) och ökar deras praktiska erfarenhet i verklig miljö.

I projektansökan skrev vi att forskningsmålen och projektresultat har potential att vara av intresse även för andra företag. Dessutom lade vi till att vi skulle: börja utvärdera strategierna, verifiera modellerna och föreslå införande av nya lösningar, främja samarbetet mellan relevanta intressenter och överväga förändringar i mänskligt beteende som är en förutsättning för de föreslagna lösningarna. Projektets mål var bland annat att försöka kvantifiera mobilitetshusens inverkan (positiv och/eller negativ) på det lokala nätet, tack vare analyser av energisystemmodeller, incitamentsmodeller, strategier för engagemang för elbilsägare och genom att genomföra experiment med implementering av smarta teknologier och olika styrstrategier.

I synnerhet inkluderade de huvudsakliga målen:

- Ökad kunskap om samspelet mellan energidelsystem i ett smart parkeringshus för att minimera den extra belastningen på det lokala elnätet.
- Validerad fullskalig simuleringsmodell som omfattar ett system av energidelsystem.
- Sammanställning av incitament och preferenser för elbilsaddning bland elbilsägare.
- Projektkommunikation som når minst 20 intressenter (till exempel parkeringsföretag och system- eller tjänsteutvecklare) genom möten och evenemang.
- Minst en artikel i tidningar som riktar sig till relevanta intressenter.
- Minst en artikel i vetenskapliga tidskrifter.
- Minst ett konferensbidrag.
- Etablerad teoretisk potential för peak shaving och trefaseffektutjämning på grund av laddningsflexibilitet hos elbilsägare.
- Ökad förståelse för hur incitament och engagemangstrategier kan stödja användarflexibilitet när det gäller laddning av elbilar.
- Design och implementering av datainsamlingssystem, vilket möjliggör systematisk utvärdering av tekniska system, interaktion mellan systemen samt olika incitamentsmodeller.
- Ny kunskap om hur olika energitekniker kan implementeras i framtida mobilitetshus utan att orsaka behov av dyra nätförstärkningar.

## 6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet utvecklade lösningar för ett laddinfrastruktur av elfordon, samt incitament och strategier riktade mot elbilsägare i syfte att uppnå ökad flexibilitet gällande laddning av elfordon. Målet att erhålla modellering och experiment, både utifrån tekniska och sociotekniska perspektiv, har uppnåtts. Projektets resultat ökar kunskap om samspelet mellan energidelsystem i ett smart parkeringshus för att minimera den extra belastningen på det lokala elnätet. Vi har tagit fram flera simuleringsmodeller som beskriver energiflödet i parkeringshuset och som fastställs den teoretiska potentialen för peak shaving och energiutjämning. Projektet sammanställde incitament och preferenser för elbilsaddning bland elbilsägare och utvecklade en App för smart laddning. Mät- och kommunikationssystem som kan övervaka energiflödet i mobilitetshus är installerad och datainsamlingen för dataanalysen och modellvalideringen är igång. En forskningstvilling på universitetslabbet har installerats i syfte att genomföra preliminära test på V2X.

Projektkommunikation har varit framgångsrik och vi skapade nya partnerskap, bland annat med Volvo Cars, CEVT, Uppsala Smart Energy Research group, RISE, Power Circle, och ChargeAmps. Dessutom har vi haft ett tätt samarbete med projektpartnererna under hela projektiden. Vi publicerade 1 vetenskapligt konferensbidrag, 2 vetenskapliga artiklar, 6 exjobb och parkeringshuset planeras bli en del av studentutbildningen vid Uppsala universitet. Vi organiserade årliga referensgruppsmöten med presentationer och studiebesök, samt presenterade projektet för Swedish Electromobility Centre och SweGrids nätverk.

Projektet har bidragit till FFI:s mål på olika sätt. Projektet visade att olika system som samarbetar med varandra kan tillsammans skapa bättre effekter än vad enskilda system kan göra. Vi undersökte en av de utmaningarna i städernas transportsystem, som kan bidra till transporteffektivitet och resursutnyttjande. Med hänvisning till programmets *System-av-system för mobilitet i städer (SoSSUM)* färdplan, undersökte projektet strategier för en smartare stadsmobilitet, identifierade effektivitetspotential, bidrog till en kunskapshöjning, utforskade konkreta tillämpningar av smart urban mobilitet, samarbetade med ett aktivt nätverk med aktörer både inom och utanför fordons- och transportsektorn. Slutligen bidrar projektet till FFI:s mål om smarta städer, miljö, och industriell konkurrenskraft, alltid med säkerhet och trygghet i åtanke.

## 7 Spridning och publicering

### 7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		Ej relevant
Introduceras på marknaden		Ej relevant
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	X	

Under de senaste två åren samarbetade vi med Uppsala Smart Energy Research group (USER). USERs övergripande syfte är att öka den allmänna kunskapen om elkonsumenters och prosumenter roll i förverkligandet av visionen om framtidens smarta elnät. Dessutom, startar ett uppföljningsprojekt värt cirka 10 miljoner kronor i Januari 2023 i samarbete bland annat med Volvo Cars, CEVT och Swedish Electromobility Centre.

### 7.2 Publikationer

Vi publicerade (A) ett konferensbidrag, (B-C) två vetenskapliga artiklar, (D-I) exjobb kopplade till projektet.

- (A) Flygare C.; Wallberg, A.; Hjalmarsson, J.; Fjellstedt, C.; Aalhuizen, C.; Castellucci, V. The potential impact of a mobility house on a congested distribution grid – a case study in Uppsala, Sweden. In *CIREN Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems, 2022*.
- (B) Wallberg, A.; Flygare, C.; Waters, R.; Castellucci, V. Peak Shaving for Electric Vehicle Charging Infrastructure—A Case Study in a Parking Garage in Uppsala, Sweden. *World Electr. Veh. J.* 2022, 13, 152. <https://doi.org/10.3390/wevj13080152>
- (C) Castellucci, V.; Wallberg, A.; Flygare, C. Potential of Load Shifting in a Parking Garage with Electric Vehicle Chargers, Local Energy Production and Storage. *World Electr. Veh. J.* 2022, 13, 166. <https://doi.org/10.3390/wevj13090166>
- (D) Algvere, C. Designing Electric Vehicle Charging Station Information. 2020, Master thesis.
- (E) Svensson, M. Elbilen och vardagen. En etnologisk studie av vardagliga interaktioner mellan människa, elbil och elektricitet. Bachelor thesis, 2020.
- (F) Wiksten, M. Elbilsparkörer som resurs. Den tekniska och sociala potentialen för elbilsladdning som flexibilitetsresurs. Master thesis, 2021.
- (G) Dellham, O., Swanmark, E., Gustavsson, P.; Sundberg, E. Optimizing an electricity contract to save money while also alleviating the grid. Master thesis, 2021.
- (H) Nikolopoulos, A. Designing a platform for smart electric vehicle charging - a case study in Uppsala, Sweden. Master thesis, 2022.
- (I) Yousef, A. G. A. I. Analysis of Charging Patterns of Electric Vehicles, Case Study in Uppsala, Sweden. Master thesis, 2022.

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Det Vinnova finansierade projektet syftade till att utveckla lösningar för en laddinfrastruktur för elfordon, samt incitament och strategier riktade mot elbilsägare i syfte att uppnå ökad flexibilitet



gällande laddning av elfordon. Resultaten av det storskaliga projektet ökade kunskap och erfarenhet inom områden och bidrog till FFI:s mål. Vikten av detta arbete bevisas också av att det ledde till nya partnerskap med fordonsindustrin och forskningsinstitut. Ett uppföljningsprojekt börjar nästa år och det kommer att fokusera - bland annat - på V2G-demonstrationer i parkeringshuset, med hänsyn till utmaningarna relaterade till standardisering och kommunikationsprotokoll. Projektet kommer också att utveckla ett energiledningssystem för parkeringshuset och kommer att analysera andra flexibilitetstjänster som mobilitetshuset kan tillhandahålla.

## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Uppsala Parkerings AB: Törnquist Gustav, [gustav.tornquist@uppsalaparkering.se](mailto:gustav.tornquist@uppsalaparkering.se)

Uppsala University: Valeria Castellucci, [valeria.castellucci@uu.se](mailto:valeria.castellucci@uu.se)

STUNS Energi: Rafael Waters, [rafael.waters@stuns.se](mailto:rafael.waters@stuns.se)



UPPSALA  
UNIVERSITET

