

Fullelektrisk Godsdistribution med optimerat laddsystem

Publik rapport



FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOXVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning	4
2. Executive summary in English.....	5
3. Bakgrund.....	6
4. Syfte, forskningsfrågor och metod	9
5. Mål	9
6. Resultat och måluppfyllelse	10
Analys av referensfordon	11
Mariestad	11
Malmö	12
Val av laddlösning	13
Induktiv	14
Automatisk konduktiv	15
Val av elfordon.....	18
Körning med elfordon.....	19
Tibro/Mariestad	19
Malmö	21
Laddning av elfordon	21
Laddningsverkningsgrad	21
Driftsäkerhet	22
Laddning av hela lastbilsflottan vid DHL i Malmö	22
7. Spridning och publicering	26
Kunskaps- och resultatspridning	26
Publikationer.....	27
8. Slutsatser och fortsatt forskning	28
9. Deltagande parter och kontaktpersoner.....	29

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.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1. Sammanfattning

Detta projekt adresserar de tekniska och praktiska utmaningar som ställs av helt elektrifierad godsdistribution med lastbil. Projektet utgår från DHL's godsterminal i Malmö samt Mariestad/Tibro, med fokus på automatisk laddning, energibehov utifrån existerande dieselfordon, teknikdemonstration med ett fullt elektrifierat distributionsfordon samt inledande modellering av vad som krävs av en godsterminal som den i Malmö med bara elektriska fordon.

Mätningar och data från existerande fordon utgående från DHL's terminal i Malmö, och delas in i viktclasserna < 3.5 ton samt 7-20 ton. Merparten av dessa körs mindre än 25 mil per dag. Om dessa skall elektrifieras måste de kunna laddas nattetid. För att klara en hel arbetsdag för alla normala körsträckor behöver de lättare fordonen ett batteri på närmare 100 kWh, och de tyngre ett batteri på 300 kWh. Vid projektets start 2016 fanns det inga sådana fordon på marknaden ett sådant fordon togs fram i samarbete med Coman AB, en lastbil med 74 kWh batteri. Coman gick under projektets gång i konkurs och den planerade andra Coman-lastbilen ersattes av ett inköp av en MAN eTGE med c:a 35 kWh batteri.

Projektet har utrett två alternativa till automatisk laddning, en induktiv teknik och en automatiserad konduktiv. Den induktiva modellerades av LTH och kalibrerades mot kända konstruktioner samt mot en labprototyp. Den konduktiva var redan känd genom samtidigt arbete med utveckling av Elonroads dynamiska laddsystem, som i detta projekt anpassades till statisk laddning. Jämförelsen visar på ungefär samma laddningsverkningsgrad om alla systemkomponenter från elnät till batteriterminaler tas med. Projektet valde att implementera den konduktiva varianten då den är "framåtkompatibel" med dynamisk laddning. MAN-lastbilen har laddats med denna teknik i DHL's terminal i Malmö sedan Januari 2020 med få driftstörningar.

Projektet har i ett "living lab" i framför allt Malmö men även i Maristad/Skaraborg kört godsdistribution i mer än ett år. Denna har fungerat likvärdigt med en diesellastbil med några få undantag. Det har hänt att den automatiska laddningen stängts av under natten och föraren på morgonen kommit till en inte fulladdad lastbil. Orsakerna till detta kan ses som bagatellartade barnsjukdomar hos laddlösningen, men konsekvenserna är allvarliga och har krävt snabba åtgärder med körning till en snabbbladdningsstation. Dessa erfarenheter illustrerar allvaret i att laddning inte får stå vägen för produktion, och att bara laddningen fungerar så är en ellastbil, inom sin räckvidd, fullt jämförbar med en diesellastbil.

Projektet har visat att ellastbilen och den automatiska laddlösningen fungerar bra tillsammans. Därför har projektet gjort en inledande studie av elbehovet vid DHL's terminal i Malmö om alla lastbilar är elektriska. För regional distribution i Malmö med omnejd (Skåne) finns det c:a 30 st paketbussar (<3.5 ton) samt c:a 60 st lastbilar (7-20 ton). Därtill kommer de lastbilar som nattetid kör mellan DHL's 25 terminaler i Sverige. Utan elfordonsladdning drar anläggningen c:a 200 kW effekt från elnätet som mest. OM all regional distribution laddas nattetid ökar effektbehovet till c:a 900 kW. OM alla transporter till/från andra terminaler i Sverige också läggs till så ökar effektbehovet till c:a 2.3 MW. OM samma anläggning beläggs med solceller och anläggningen utrustas med batterilager (för dygnslagring) och vätgaslager (för säsongslagring) kan den försörjas med en konstant effekt på c:a 650 kW, dygnet runt, året om. Alla variationer i effektuttag tas upp av lokal generering och lagring. De ekonomiska och affärsmodellsmässiga aspekterna av en sådan lösning ligger utanför detta projekt att utreda, och detta görs i stället i det efterföljande projektet TED - Terminalladdning av Elektriska Distributionsfordon.

Kostnader totalt för elfordon jämfört med fordon med dieseldrivlina baseras på samtliga kostnader under 1 år uppdelade per körd timme. Underlagen på detaljerad nivå är sekretessbelagda, men de största kostnadsdrivarna är investering, restvärde, underhåll och reparationer, försäkring och bränsle.

Beräkningarna har genomförts på ett 3,5 tons fordon och visar att idag är en fullelektrisk distributionsbil med 41 kWh batteri är ca 10% billigare än motsvarande dieseldrivna alternativ och en med 55 kWh batteri visar en nära försumbart lägre kostnad jämfört med diesel. När det gäller tyngre distributionslastbilar av typen Volvo FL 16 så är kostnaden per år för elektriskt fordon i storleksordningen 50% högre.

Detta visar sammantaget på både möjligheterna med fullelektriska fordon, att de redan idag visar på bättre ekonomi i full produktion än diesel i tex city-rutter men också utmaningen med större batterier och tyngre fordon där innovativa lösningar krävs, rimligen i kombination med kostnadsreduktion gällande investeringarna i dessa fordon. Även här är tex dynamisk laddning via elväg något som minskar behovet av batterikapacitet och därmed kan vara en del av lösningen.

2. Executive summary in English

This project addresses the technical and practical challenges posed by fully electrified freight distribution by truck. The project is based on DHL's freight terminal in Malmö and Mariestad / Tibro, with a focus on automatic charging, energy needs based on existing diesel vehicles, technology demonstration with a fully electrified distribution vehicle and initial modeling of what is required of a freight terminal like the one in Malmö with only electric vehicles.

Measurements and data from existing vehicles based on DHL's terminal in Malmö, and are divided into weight classes <3.5 tonnes and 7-20 tonnes. Most of these run less than 250 km per day. If these are to be electrified, they must be able to be charged at night. To cope with a full working day for all normal driving distances, the lighter vehicles need a battery of close to 100 kWh, and the heavier ones a battery of 300 kWh. At the start of the project in 2016, there were no such vehicles on the market, such a vehicle was developed in collaboration with Coman AB, a truck with a 74 kWh battery. During the project, Coman went bankrupt and the planned second Coman truck was replaced by a purchase of a MAN eTGE with about 35 kWh battery.

The project has investigated two alternatives to automatic charging, an inductive technology and an automated conductive. The inductive was modeled by LTH and calibrated against known constructions and against a lab prototype. The conductive was already known through simultaneous work on the development of Elonroad's dynamic charging system, which in this project was adapted to static charging. The comparison shows approximately the same charging efficiency if all system components from the mains to battery terminals are included. The project chose to implement the conductive variant as it is "forward compatible" with dynamic charging. The MAN truck has been loaded with this technology in DHL's terminal in Malmö since January 2020 with few operational disruptions.

The project has in a "living lab" in primarily Malmö but also in Mariestad / Skaraborg run goods distribution for more than a year. This has worked equivalent to a diesel car with a few exceptions. It has happened that the automatic charging was switched off during the night and the driver arrived in the morning in an uncharged truck. The reasons for this can be seen as trivial childhood diseases in the charging solution, but the consequences are serious and have required quick measures with driving to a fast charging station. These experiences illustrate the seriousness of the fact that charging must not stand in the way of production,

and that only when charging works, an electric truck, within its range, is fully comparable to a diesel truck.

The project has shown that the electric truck and the automatic charging solution work well together. Therefore, the project has made an initial study of the electricity demand at DHL's terminal in Malmö if all trucks are electric. For regional distribution in Malmö and the surrounding area (Skåne), there are about 30 parcel buses (<3.5 tons) and about 60 trucks (7-20 tons). In addition, the trucks that drive at night between DHL's 25 terminals in Sweden. Without electric vehicle charging, the plant draws about 200 kW of power from the electricity grid at most. IF all regional distribution is charged at night, the power requirement increases to about 900 kW. IF all transports to / from other terminals in Sweden are also added, the power requirement will increase to approximately 2.3 MW. IF the same plant is supplied with solar cells and the plant is equipped with battery storage (for 24-hour storage) and hydrogen storage (for seasonal storage), it can be supplied with a constant power of approximately 650 kW, 24 hours a day, all year round. All variations in power output are addressed by local generation and storage. The economic and business model aspects of such a solution are outside the scope of this project to investigate, and this is done instead in the subsequent project TED - Terminal Charging of Electric Distribution Vehicles.

Total costs for electric vehicles compared with vehicles with diesel driveline are based on all costs over 1 year divided per hour driven. The documents at a detailed level are confidential, but the biggest cost drivers are investment, residual value, maintenance and repairs, insurance and fuel.

The calculations have been carried out on a 3.5 tonne vehicle and show that today a fully electric distribution car with a 41 kWh battery is about 10% cheaper than the corresponding diesel-powered alternatives and one with a 55 kWh battery shows a nearly negligible lower cost compared to diesel. When it comes to heavier distribution trucks of the type Volvo FL 16, the cost per year for electric vehicles is in the order of 50% higher.

Taken together, this shows both the possibilities with fully electric vehicles, that they already today show better economy in full production than diesel in eg city routes but also the challenge with larger batteries and heavier vehicles where innovative solutions are required, reasonably in combination with cost reduction in investments in these vehicles. Here, too, for example, dynamic charging via an electric road is something that reduces the need for battery capacity and thus can be part of the solution.

3. Bakgrund

Den idag huvudsakligen dieseldrivna godsdistributionen är en allt större utmaning i såväl storstäder och som i tätorter orsakad av urbanisering, ökad konsumtion, snabb expansion i e-handel och därmed sammanhängande trängsel. För den hållbara staden är reduktion av utsläpp och buller avgörande för livskvaliteten och hållbarhetsmålen. Inom EU sker årligen över 400.000 [5] förtida dödsfall orsakade av partikelutsläpp samtidigt som trafiken ska bli fossilfri.

Projektet fokuserar på utveckling, anpassning och demonstration av nästa generations laddteknik för godsdistribution. Eftersom distributionsbranschens krav är styrande vad gäller kostnadseffektivitet och maximal last i fordonen (vikt och volym) så ställs det stora krav på snabbhet vid laddning i terminal och leveranspunkter. Projektet syftar till att analysera och utvärdera vilka laddningstekniker, som kan uppfylla dessa krav.

Det övergripande projekt målet är att radikalt minska energiåtgång, hälsopåverkande partikelutsläpp och koldioxid för "den sista milen" i distributionskedjan. Genom att "sista milen" utgår från en omlastningsterminal med planlagda rutter är behoven av lastvolym, räckvidd och laddtid kända.

Unikt och avgörande är att projektet baseras på ett systemperspektiv där en modulär batterilösning för fordonen kombineras med innovativa laddlösningar. Detta möjliggör utveckling av drivlina och laddteknik som optimeras för varje transportuppdrag. Fordon och laddteknik testas i ett living lab inom DHLs produktionskedja genom att befintliga dieseldrivna fordon görs till referensunderlag.

För Sverige innebär projektet en industriell möjlighet innehållande nya produkter, tjänster och affärsmodeller. Svenska leverantörer ansvarar för utveckling av både fordon och laddningsteknik samtidigt som DHL, ett av världens största globala företag, aktivt söker vägar för en hållbar omställning. Befintligt svenskt fordonstekniskt kunnande utnyttjas i kombination med kompetens inom produktionssystem och energiteknik.

Fordonskomponentgruppen (FKG) har här särskilt understrukt möjligheten för svenska underleverantörer att kunna vara med och att utveckla elfordon för citydistribution.

Innovativa laddlösningar

Alla elfordon behöver en extern tillförsel av elenergi. Eftersom de flesta elfordon har ett ombordlager för energi i form av elektrokemiska batterier med likspänning, och att vårt nuvarande elkraftsystem bygger på energiöverföring med växelspanning, så behövs någon form av omvandlare mellan elnätet å ena sidan och fordonets batteri å den andra. Omvandlingen behöver dessutom vara styrbar då laddning av batterier måste ske kontrollerat för att maximera batteriets livslängd. Eftersom hela energitillförseln från nät till fordon dessutom sker vid höga elektriska spänningar, strömmar och effekter behöver tillräcklig elsäkerhet kunna garanteras.

I en internationell kartläggning som gjorts av olika laddinfrastrukturteknik framgick bl a följande (se också referenser sist i denna ansökan):

Snabb/långsam. Detta avser laddtiden ställd i relation till den tid vi är vana vid att "ladda" konventionella bilar, vilken typiskt är ett ensiffrigt antal minuter för flera dagars körning. Eftersom inga laddfordon kan bära nog energi ens för en hel dags körning så avser snabbaddning en tillförsel av åtminstone en stor del av en dags energibehov på en relativt kort tid.

Manuell/Automatisk. Detta avser hur anslutningen för laddning går till rent mekaniskt. Storleken på de delar som används i anslutningen är i grova drag beroende av effekten. För högre effekter, typiskt över 100...150 kW vid konduktiv laddning, blir kablar och kontaktdon så stora att de inte kan hanteras manuellt. Automatisk anslutning kräver någon form av robotik, vilken idag endast finns i ett fåtal kommersiella versioner.

En demonstration av sådan teknik är en viktig del av detta föreslagna projekt.

Induktiv/Konduktiv. Detta avser det fysikaliska koncept som används. Med induktiv menas att ett högfrekvent magnetiskt fält (som i eltandborstladdare) används för att föra över energi mellan en del på marken och en del i fordonet.

DC/AC. Nätets växelspanning (AC) måste omvandlas till batteriets likspänning (DC). Denna omvandling kan endera ske ombord på fordonet eller utanför fordonet, i s.k. externa laddare. Generellt sett kostar sådana laddstationer 2000-20 000 kr/kW oavsett om de sitter utanför fordonet eller ombord. *En demonstration av teknik för AC laddning med hög effekt (<200 kW) i kombination med Integrerad laddning och automatisk anslutning är en viktig del av detta föreslagna projekt.*

Statisk/Dynamisk. Detta avser om laddningen sker med fordonet stillastående (statisk) eller i rörelse (dynamisk). Det senare avser s.k "elvägar" som idag utvecklas mycket snabbt, finns i kommersiell användning utomlands och under 2017 kommer att demonstreras i Sverige i flera tappningar genom Trafikverkets Innovationsupphandling.

En speciell möjlighet till statisk laddning är användning av en kort bit elväg (c:a 2 meter) på t.ex. en parkering eller framför en lastbrygga. I detta fall behövs ingen annan form av statisk laddning av ovan diskuterade slag utan all laddning, både statisk och dynamisk, kan ske med samma tekniska lösning. Lunds Tekniska Högskola arbetar med elvägsutveckling och *en demonstration av statisk laddning med elväg är en viktig del av detta föreslagna projekt.*

Mot denna bakgrund kan de problem som projektet avser att utveckla och demonstrera lösningar för sammanfattas som:

Automatisk anslutning av laddning genom att fordonet, med förarens och/eller en enklare kontakteringsrobots hjälp, ansluts **med ett speciellt utvecklat kontaktdon för AC** vid hög effekt (upp till 200 kW). Detta innebär vidare utveckling och användning av tidigare projektresultat från samarbete mellan Lunds Tekniska Högskola och Volvo Construction Equipment inom projektet All Electric Site. I det samarbetet tas en 200 kW 3-fas AC- kontaktering fram för laddning av arbetsmaskiner. Utvecklingen inom föreslaget projekt avser eventuell vidare utveckling av själva kontakten samt anpassning till lastbil av automationen av densamma från pågående utveckling (första fungerande demonstration i det samarbetet planerad till sommaren 2016) för en "dumper". Utmaningen här är kontaktens storlek (för närvarande ungefär en ölburks storlek) och livslängd (>100 000 operationer) vilken kommer att drivas vidare i föreslaget projekt.

Automatisk anslutning av laddning genom användning av en kort elväg. I samarbete mellan Lunds Universitet och företaget EIONRoad utvecklas en elvägsteknik designad för mycket låga installationskostnader i vägen. Denna är därför också lämpad för statisk laddning och är ett intressant alternativ som statisk laddlösning i detta projekt. Attraktiviteten ligger i att exakt samma installation i fordonet även fungerar för dynamisk laddning på en elväg. Utmaningen här är att hantera höga temperaturer vid statisk laddning gentemot dynamisk laddning då motsvarande sektion av vägen endast är engagerad en kort del av tiden medan en bil passerar. Omfattande termiska beräkningar och labbförsök visar på lovande resultat men det föreslagna projektet blir första gången denna teknik testas i verklig drift. Det finns även en kommersiellt tillgänglig alternativ teknik för denna typ av anslutning, Alstom's SRS-system [6]. Denna påminner principiellt om den som

utvecklas vid LTH för EIONRoad's elvägsteknik, men i ett utförande passande till Alstoms elvägsteknik APS.

Vilken av lösningarna under punkt 1 och 2 ovan som kommer att väljas för demonstration i det föreslagna projektet avgörs i kvartal Q3 år 1 av projektet. Ev kommer olika lösningar att demonstreras i de olika fordon som skall användas.

Användning av en form av Integrerad ombordladdare som kraftigt reducerar kostnaden för att omvandla AC till DC ombord på fordonet. Denna teknik är utvecklad av Lunds Universitet under de senaste åren både inom Svenskt HybridCentrum och i samarbete med AB Volvo. Utmaningen här är att ta fram ett kommersiellt konkurrenskraftigt drivsystem som både ger önskade laddegenskaper och framdrivningsegenskaper. Detta projekt innebär en naturlig fortsättning av utveckling/tester på arbeten i bl.a pågående projekt inom Demonstrationsprogrammet för elfordon.

4. Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektet övergripande **syfte** är att minska energiförbrukningen (och därmed miljöpåverkan) för godsdistribution samt dess utsläpp av växthusgaser genom övergång distribution med helt elektriska fordon. Hypotesen redan vid starten av arbetet (2016) var att laddningen av dessa fordon måste automatiseras för att detta skall kunna genomföras, givet antagandet att det är viktigt med minimering av förarens insats för laddning. Detta har under projektet gång visat sig vara ett mycket relevant antagande.

Forskningsfrågorna som projektet sattes att besvara är:

1. Hur lång daglig räckvidd behöver de olika distributions lastbilarna som används av DHL ha och hur stora batterier motsvarar det?
2. När, var, hur ofta och med vilken effekt behöver fordonen laddas?
3. Hur kan laddningen automatiseras?
4. Vad driver kostnad och på vilka villkor kan helt elektrisk distribution vara konkurrenskraftig jämfört med distribution med konventionella dieseldrivna lastbilar.

Metoden som använts består av momenten:

- Mätningar på befintlig diesel-baserad godsdistribution
- Analys av mätresultat och specifikation samt inköp av fordon och laddinfrastruktur
- Framtagande och uppbyggnad av lämplig laddinfrastruktur för automatisk laddning
- Godsdistribution med inköpta fordon för erfarenhetsinsamling.
- Analys av erhållna resultat.

5. Mål

Projektet har fyra mätbara mål.

- Energiförbrukningen reduceras med 70 % relativt konventionellt drivna fordon.
- Driftsnetto för fordonen ska motsvara driftsnetto för referensfordonen med dieseldrivlina.

- Systemet med fullelektriska fordon och laddlösningar ska utföra motsvarande transportarbete per fordon som referensfordonen med dieseldrivlina.
- Kostnaden för en laddplats sammantaget med merkostnaden för ombordsystemet för laddning ska kunna visas understiga 2000 SEK/kW laddeffekt vid volymproduktion.

6. Resultat och måluppfyllelse

Projektets huvudsakliga resultat är en demonstration genom ett living lab som pågår under ett år där fullelektriska distributionsfordon och automatiserad laddinfrastruktur för dessa är i drift inom DHLs produktion. Detta sker genom ett fordon i DHLs terminal i Tibro för en rutt i Mariestad (glesbygd längre rutt färre stopp) och ett fordon i DHLs terminal i Malmö (kortare city-rutt med många stopp). Båda platserna har möjligheter till laddning under natt i terminal samt vid behov laddning under rutt. I övrigt är utmaningarna i transportuppdraget på de två orterna avsevärt olika av helt olika karaktär.

Fordon och laddinfrastruktur är optimerad för respektive transportuppdrag på dessa två platser. Forskningens avser att visa om denna anpassade lösning med modulär batteristorlek och automatiserad laddning kan resultera i kostnadseffektivitet i logistikproduktionen under verkliga förhållanden.

Resultat blir därmed ökad kompetensuppbyggnad inom ny utveckling av fordon med fullelektrisk drivlina med flexibel batteristorlek, automatladdlösningar med hög täthet som möjliggör lägre batteriinvesteringar i fordonen samt hur dessa samverkar i ett system optimerat för ett visst transportarbete.

Mål satta i projektet har gällande "Systemet med fullelektriska fordon och laddlösningar ska utföra motsvarande transportarbete per fordon som referensfordonen med dieseldrivlina" uppnåtts genom living lab i Malmö där automatiserad laddning av ett anpassat OEM helelektriskt distributionsfordon från MAN gått i full produktion i över 1 år. Däremot har living lab i Tibro/Mariestad genomförts av ett fordon utvecklat av projektparten Coman som under projektets gång gick i konkurs. Under projektets gång har fullelektriska OEM distributionsfordon med anpassningsbar alternativt större batterikapacitet ej funnits att tillgå varför projektet valt att fortsätta med Comans nyutvecklade eldistributionsfordon. Detta har inneburit omfattande utmaningar och rutten har till slut genomförts, men genom att "skugga" ordinarie distributionsfordon i DHLs produktion, dvs samma rutt (enligt sk.lastlista med leveransadress) utan att distribuera paket.

Projektet visar med tydlighet att varudistribution med dagens tillgängliga eldrivna skåpbilar är både möjligt och kostnadseffektivt inom tätort. På landsbygd med längre och varierande rutter krävs dock större lastkapacitet och utökad räckvidd för fullelektrisk varudistribution. Här utgör även begränsningen till 3,5 ton totalvikt med körkortsklass B ett hinder. Tillämpning av EU-direktiv för utökad totalvikt till 4,25 ton för elektriska transportbilar skulle enkelt undanröja detta hinder.

Sammantaget ser vi att projektmål uppfyllts och att laddtekniken och dess funktion i full produktion visar mycket god robust funktion under mer än ett års produktion under alla årstider. Lärdomar är dock att laddning under pågående rutt är extremt ur både produktions-, leveransservice- och kostnadsperspektiv. Att nyttja publika laddare längs rutten innebär alltför bristande tillförlitlighet både gällande att laddarna ska fungera problemfritt och att de ska vara garanterat tillgängliga. DHL och deras kontrakterade åkerier påtar också tydligt att varken den tid ett laddstopp eller den kostnad det innebär i förarlöner matchar verkligheten i deras produktion och marknadens krav på leveransservice. Här kan dynamisk laddning med

elvägar, särskilt då dessa fordon laddas med markbunden elvägsteknik och har försetts med avtagare, vara en lösning.

I relation till FFI's och delprogrammets mål har projektet bidragit enligt följande

- **Programmål**

- **Minska vägtransporternas miljöpåverkan.** Projektet har visat att elektrisk godsdistribution med automatisk laddning kan vara en tekniskt och ekonomiskt konkurrenskraftig lösning.
- **Stärka den internationella konkurrenskraften.** Den utvecklade och anpassade lösningen för automatisk laddning tilldrar sig mycket intresse från fordons-användare, inte minst internationellt.

- **Delprogram-mål:**

- **Fordons- och mobilitetstjänster.** Projektet har utvecklat och anpassat teknik för automatisk laddning som har varit i framgångsrik drift under c:a 18 månader av projektiden.
- **Väg-, digital- och elinfrastruktur.** Projektet har installerat och drivit automatisk laddning vid DHL's terminal i Malmö samt vid DHL's terminal i Tibro.
- **Regelverk.** Regelverk har under projektets gång omfattats gällande svensk tillämpning av EU-direktiv för utökad totalvikt till 4,25 ton för elektriska transportbilar. Kontakter har skett med Transportstyrelsen där vi påtalat att hinder för elektrifiering av godstransporter enkelt skulle undanröjas genom att Sverige tillämpande EU-direktivet.
- **Affärsmodeller kopplat till ny innovativ teknik.** Det efterföljande projektet inom FFI kallat TED - Terminalladdning av Elektriska Distributionsfordon omfattar i hög grad samverkans- och affärsmodeller mellan transport-, energi-, fastighetsbolag samt energitjänsteföretag.

Resultat från living lab redovisas nedan.

Analys av referensfordon

Att projektet bytt målområde från Mariestad+Stockholm till Mariestad+Malmö har inte påverkat karaktären av DHL's användande av fordonen. Distribution i Mariestad är i själva verket distribution i Skaraborgsområdet vilket innebär en högre andel sträckor på landsbygd jämfört med de fordon som utgår från Malmö som av naturliga skäl har en större andel stadsdistribution, liksom Stockholm.

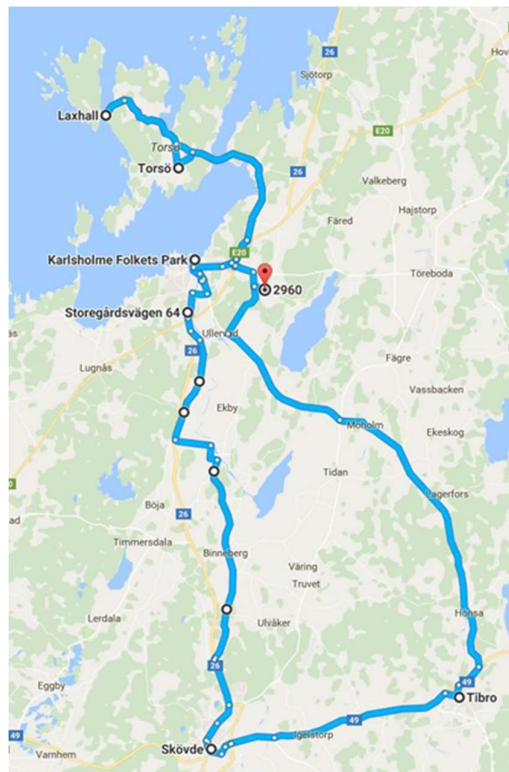
Mariestad

I detta fall valdes tidigt en representativ rutt för området. Den startar med fulladdad lastbil hemma hos föraren i Bengtstorp och därefter i sen sekvens enligt Tabell 1.

Tabell 1 Körcykel för Mariestad

		Energiförbrukning	Energiåtgång	Statisk Manuell AC laddning			
	Sträcka [km]	[kWh/km]	[kWh]	Laddeffekt [kW]	Laddtid [h]	Laddenergi [kWh]	SOC [kWh]
Startvärde							78
Bengtstorp-Tibro	50	0,6	30				48
<i>Lastning 90 m</i>				22	1,5	33	78
Tibro -Willys via Skövde	90	0,6	54				24
<i>Lossning 15 m</i>				22	0,25	5,5	30
Willys - Karlsholme	15	0,45	6,75				23
<i>Lunch 45 min</i>				22	0,75	16,5	39
Karlsholme – Torsö-Bengtstorp	40	0,45	18				21
<i>Nattladdning</i>				11	5,15	56,65	78

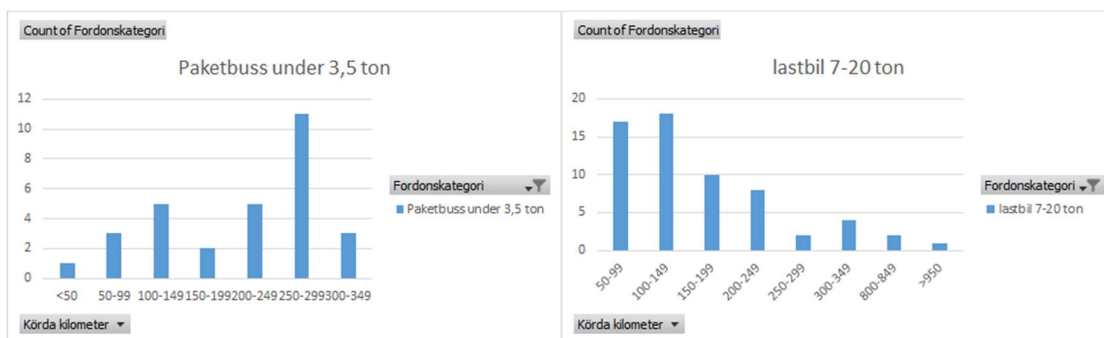
Den preliminära körcykeln är på knappt 200 km och är även illustrerad i Figur 1. I den preliminära bedömningen antogs ett batteri om 70 kWh och körsträckor, laddtider mm planerades för att kunna genomföra rundan med de laddtillfällen som anges i Tabell 1. Antagandet vara att eftersom flera laddställen behövdes, så skulle alla utom ett av dessa använda manuellt kopplad AC-laddning vid 22 kW, medan ett utrustas för automatisk laddning via elvägsskena.



Figur 1 Preliminär körcykel i Mariestad

Malmö

I detta fall utgår DHL's regionala distribution från en terminal i Malmö. Där finns c:a 30 distributionslastbilar i form av 3.5 tons paketbussar samt c:a 60 tyngre distributionslastbilar (7-20 ton) med dagliga körsträckor som fördelar sig enligt Figur 2.



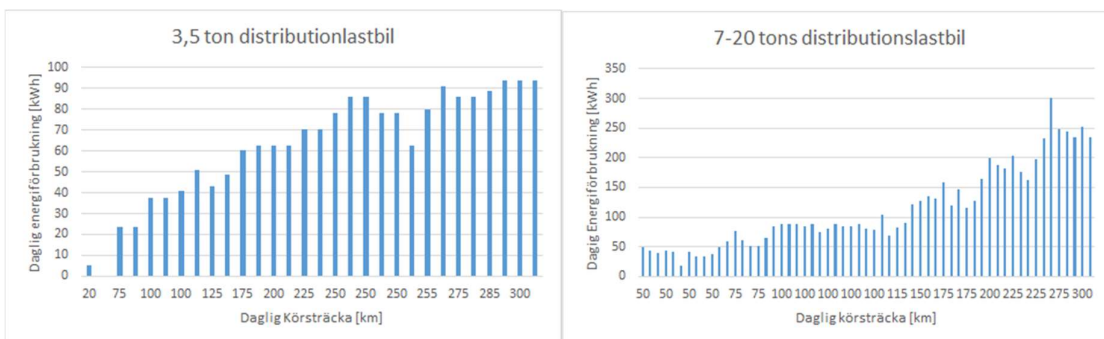
Figur 2 Fördelning av körsträckor mellan olika distributionsfordon utgående från DHL's terminal i Malmö.

Notera att för båda fordonssstorlekarna (3.5 ton och 7-20 ton) så dominerar dagliga körsträckor under 300 km. För samtliga dessa individer är den dagliga energiförbrukningen känd och ur denna beräknas en uppskattning av det elektriska energibehovet för samma individ som:

$$EF = BF \cdot 10 \div 3.2$$

där EF = Elektrisk energi Förbrukning (uppskattad), BF = Bränsleförbrukning (känd) och 3.2 är kvoten mellan två uppskattade verkningsgrader som är 80% för elfordonet (från elnät till hjul) och 25 % för dieselfordonet (från tank till hjul), vilket motsvarar projekt målet att energiförbrukningen reduceras med 70 % relativt konventionellt drivna fordon.

Skillnaden i fordonsvikt ger skillnader i energiförbrukning som är upp till drygt 90 kWh för den mindre paketbussarna (3.5 ton) och upp till 300 kWh för de tyngre lastbilarna (7-20 ton). Figur 3 visar den uppskattade dagliga energiförbrukningen, individ för individ, för de olika lastbilarna.



Figur 3 Uppskattad daglig energianvändning för de olika lastbilarna i Malmö.

Val av laddlösning

LTH har bedömt olika laddlösningars lämplighet för användning i detta projekt. Ett utgångskrav var från början automatisk laddning. Det ger i praktiken två möjligheter; endera induktiv laddning (som till sin natur är automatisk i den bemärkelsen att den inte kräver manuell isättning av någon kontakt) samt automatiserad konduktiv laddning (som vanligen kontakteras manuellt, men kan automatiseras). I följande avsnitt redovisas kortfattat vad som är gjort samt hur valet av laddteknik skett.

Induktiv

Det primära syftet med arbetet har varit att härleda modeller för att estimerar kostnad och storlek för induktiva laddare för elfordonstillämpningar. Modellerna är tillämpbara över ett stort effektområde och kan användas för design och vid studier av både statisk och dynamisk laddning.

Avgränsningar

I dagsläget täcker metoden den vanligaste topologin för induktiv laddning, som kalla “series-series compensated resonant converter with passive diode rectifier”.

Ett antagande om cirkulära spolar har gjorts. Metoden täcker effektomvandling från likspänning (likriktad nätspanning) till batteriets terminaler, dvs likriktare från elnätet, nätfilter, osv, har ej modellerats. Batteriet som laddas samt eventuell omvandlare på utgången har ej modellerats i detalj.

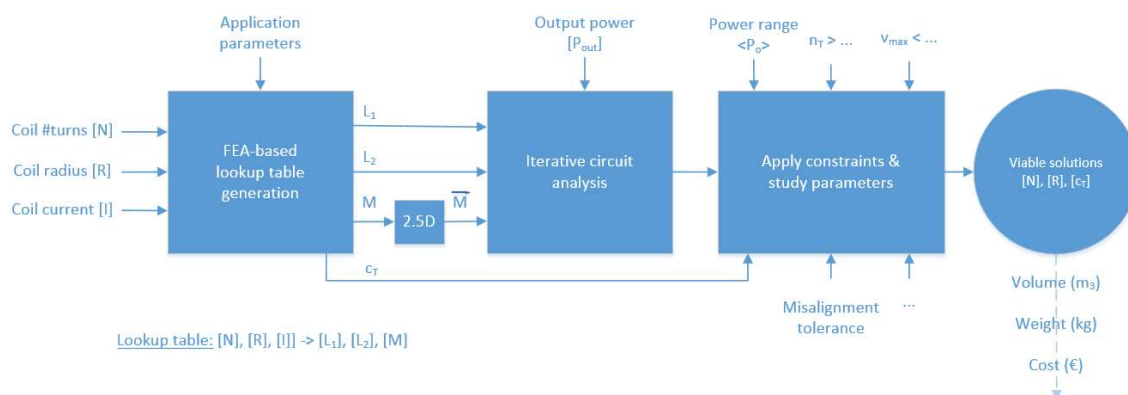
Metoden i stora drag

Metoden baseras på uppslagstabeller härledda från detaljrika finita element-simuleringar. För en given laddargeometri kan elektromagnetiska parametrar direkt hämtas fram ur de härledda uppslagstabellerna och användas för att simulera ett givet lastfall eller en tilltänkt applikation.

I praktiken specificeras önskat effektområde, minimiverkningsgrad, högsta tillåtna spänning, tillåten avvikelse mellan spolarna i det tvärgående planet (sidled och längsled), ..., varefter förslag på lämpliga laddargeometrier och tillhörande kraftelektronik hämtas fram enligt ovanstående metod.

Eftersom geometrierna är kända och redan karakteriserade elektromagnetiskt samt vad gäller volym, vikt, kostnad, ..., kan olika alternativ jämföras snabbt och noggrant.

Genom att välja ett större tillämpbart effektområde kan nyckeltal som t ex €/kW beräknas för laddtekniken givet rådande förutsättningar.



Figur 4 Översikt av utvecklad metod

Arbetets innehåll

Härledning av omfattande uppslagstabeller baserat på studier i verktyg för finita element-metoden; från geometri till elektromagnetisk prestanda (självinduktans, ömsesidig induktans, kärngeometri, ...). Både 2D- och 3D-simuleringar har utnyttjats.

- Härledning av förlust-, kostnad-, och storleksmodeller för ingående komponenter. Modellerna utgår från databladsinformation och möjliggör därför jämförelse av olika fabrikat, tillverkare, osv.
- Utveckling av metod (se föregående avsnitt) baserat på ovan nämnda uppslagstabeller och modeller.
- Förstudier baserade på utvecklad metod
- Studie av statisk laddare för kollektivtrafikstillämpning (~50 kW).
- Studie av statisk laddare till bostad (~3.3 kW).
- Studie av trender för induktiv laddteknik.

Exempel på resultat

För en statisk induktiv laddare på ett tiotal kW (~50 kW i vårt fall) förväntas en verkningsgrad i storleksordningen ~98% för en effekttäthet på ca 1-2 kW/dm². Notera dock ovan nämnda avgränsningar av det studerade systemet; utöver detta tillkommer nätansluten omriktare, nätfiler, osv. Resultaten speglar värden som återfinns i publicerad forskningslitteratur.

Validering och experimentellt arbete

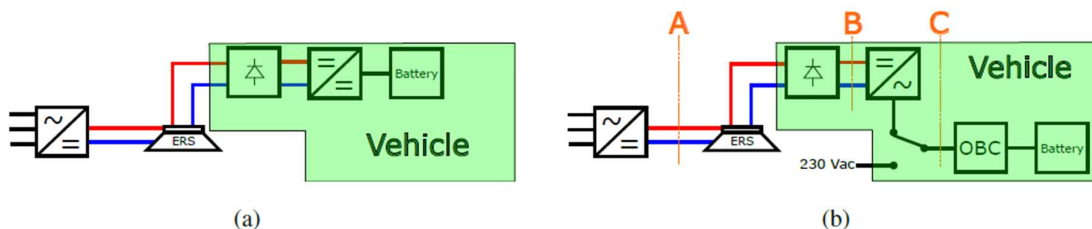
Modellerna har verifierats genom 1) jämförelse mot forskningslitteratur; 2) simulering i MATLAB Simulink och LTspice; och 3) experimentellt arbete.

Ett komplett testsystem inkluderande kraftelektronisk omvandlare, laddspolar, resonant kompenstation, likriktare, ekvivalent last, styrsystem, ..., osv har byggts upp och testats på LTH. Testsystemet är generellt väl anpassningsbart för olika geometrier, effektnivåer, osv.

Automatisk induktiv

I projektgruppen fanns redan från start en gemensam förväntan om att laddning från elväg i framtiden kommer att ha stor betydelse för elektrifiering av inte minst godsdistribution. Därför var det naturligt att välja en laddteknik som bygger på elvägsladdning (vilken till sin natur är automatisk) och fungerar vid stillastående. Lunds Tekniska Högskola har lång erfarenhet av att delta i utvecklingen av elvägsteknik i allmänhet och av ELonroads elvägsteknik i synnerhet, varför den senare blev det naturliga valet i detta projekt.

Dock måste ett antal förändringar av den elvägsbaserade laddtekniken göras för att den skall kunna användas i publik miljö. Huvudsakligen beror detta på att statisk laddning med Elonroads teknik inte var tillåten att använda högspänning på kontaktskenorna under fordonet. Därför sänktes spänningen på kontaktskenorna till 48 V, Figur XX Visar den principiella kopplingen, som även har en 48 VDC till 400 VAC 3 fas ombord. Detta arrangemang ger en högre kostnad och lägre verkningsgrad men valdes av skälet att den automatiserade laddningsanslutningen inte påverkades, en aspekt som det var viktigt att utvärdera.



Figur 5 Laddning från automatisk elvägsskena. Vänster: Normalfallet. Höger: Med DC/AC omvandlare ombord.

Med de begränsningar i laddteknik (Figur 5b) som införts för att kunna använda Elonroads elvägsskena för statisk laddning publikt i detta projekt, kan den förväntade verkningsgraden och även verkningsgraden med full spänning (Figur 5a) beräknas approximativt. Det är gjort i Tabell 2.

Tabell 2 Beräkning av verkningsgraden för några olika fall med laddning via Elonroads elvägsskena. De fyra fallen uppifrån och ned beskrivs med skenspänning och näteffekt. De olika effektomvandlarna beskrivs kolumnvis och ansluter till den funktionella uppdelningen i Figur 5a och b.

	[W]	400V AC / 48 VDC	400 VAC / 600 V DC	Diode Rect	48V DC / 400V AC	600V DC/Ubatt	OBC	Result	
@ 48 V and about 7,2 kW									
Known Efficiency		90,5%	n.a.	92,4%	90,0%	n.a.	94,0%	70,8%	[%]
Grid Power	7 200							5 095	[W]
Known losses		684	n.a.	493	602	n.a.	325		[W]
@ 600 V and about 7,2 kW									
Known Efficiency		n.a.	97,0%	99,7%	n.a.	97,0%	n.a.	93,8%	[%]
Grid Power	7 200							6 754	[W]
Known losses		n.a.	216	21	n.a.	209	n.a.		[W]
@ 600 V and about 22 kW									
Known Efficiency		n.a.	97,0%	99,7%	n.a.	97,0%	n.a.	93,8%	[%]
Grid Power	22 000							20 628	[W]
Known losses		n.a.	660	74	n.a.	638	n.a.		[W]
@ 600 V and about 150 kW									
Known Efficiency		n.a.	97,0%	99,2%	n.a.	97,0%	n.a.	93,4%	[%]
Grid Power	150000							140 065	[W]
Known losses		n.a.	4500	1103	n.a.	4332	n.a.		[W]

Notera att verkningsgraden vid DC-laddning vid 48 V är mycket låg (70,8%). Det är att vänta då lösningen kräver fler omvandlare än vad som egentligen skulle vara nödvändigt, eftersom ombordladdaren (OBC i Figur 5) används.

Notera samtidigt att verkningsgraden blir betydligt högre (93%-94%) om full spänning på vägsskenan används. Denna siffra är fullt jämförbar med de 98 % för induktiv laddning som beräknats ovan, om man inkluderar en AC/DC omvandlare (400VAC/600VDC enligt tabellen 2, 97%) samt en DC/DC -omvandlare (600VDC/Ubatt i Tabell XX, 97%), vilket ger en uppskattad verkningsgrad med induktiv laddning, från elvät till batteri = $98\% \times 97\% \times 97\% = 92.2\%$, dvs lägre än med statisk laddning från konduktiv elväg.

Nyckeltal: kostnadsmål för laddinfrastruktur

Projektets mål är att kostnaden för en laddplats sammantaget med merkostnaden för ombordsystemet för laddning ska kunna visas understiga 2000 SEK/kW laddeffekt vid volymproduktion av laddinfrastrukturen för stationär terminalladdning enligt ovan beskrivet koncept med Elonroads laddlösning bestående av en skena på laddplatsen, avtagare monterad under fordonet. Lösningen omfattar även säkerhetsskåp på marken och ombordladdare i fordonet alternativt på marken samt styrkort som kontrollerar och övervakar systemet vilka sitter både i fordon och skena.

Ett sådant automatiskt snabbbladdsystem avsett för ett större transportfordon typ lastbil eller buss med laddeffekt på 150 kW bedöms vid en större volymproduktion kunna nå projektets mål gällande nyckeltalet på 2000kr/kWh laddeffekt. Där ingår en snabbbladdare bestående av

en omvandlare med nya typer av kiselkarbidtransistorer och mekaniken bestående av skena och avtagare. Flera laddstopp kan placeras längs med en rutt till en lägre kostnad än ovanstående system. Detta då fordonet använder sin egen ombordmonterade snabbbladdare. Endast skena med säkerhetsskåp behövs då på de extra laddplatserna. Till detta erbjuder Elonroad olika extratjänster som drift och service, effektoptimering och grön-el garanti.

Nyckeltal: elfordonens driftnetto motsvarande referensfordon

Projektets mål är att driftsnetto för fordonen ska motsvara driftnetto för referensfordonen med dieseldrivlina. För detta krävs dels kapacitet i räckvidd under rutt och lastkapacitet motsvarande de över tid varierande behoven samt att kostnader totalt för elfordon inte överstiger totala kostnader för fordon med dieseldrivlina.

Referensfordonet som kört i centrala Malmö (MB Sprinter) har större last kapacitet i antal kbm, men under living lab har projektets demofordon MAN eTGE (se avsnittet "Val av fordon" nedan för detaljer) samma produktivitet som ett dieselfordon med samma lastkapacitet.

Elbilsmarknaden erbjuder än så länge inte tillräckligt stora fordon inom konkurrenskraftigt prisintervall (se nedan) vilket innebär begränsningar i vilka rutter elfordon kan tillämpas med nuvarande utbud från OEMerna.

Ruttplaneringen på DHLs terminal anpassas, dvs DHL tillsammans med aktuell linjetransportör fördelar antal stopp över flera ordinarie fordon. Flödet med antal paket/stop per veckodag är inte konstant per fordon, volymen varierar i nätverket mellan veckans dagar ca 25-30 %, varför lastkapaciteten är viktig i produktionen. Dock har alltså MAN eTGE visat erfoderlig kapacitet under drygt ett år i DHLs produktion utgående från terminalen i Malmö.

I fallet Tibro/Mariestad innebär glesbyggsdistribution med dess längre avstånd från terminal till leveransadress/mottagare är förutsättningarna mer kritiska med ett fordon med lägre lastkapacitet. Fler fordon/förare skulle isf behöva sättas i produktion med dagens utbud av fullelektriska distributionsfordon.

Kostnader totalt för elfordon jämfört med fordon med dieseldrivlina har beräknats utifrån samtliga kostnader under 1 år och även brutits ned per körd timme (mer relevant för denna produktion än per km då antalet stopp dels sliter på fordonen dels står för stor del av produktionen och därmed återspeglar verkligheten bäst). Underlaget på detaljerad nivå omfattar ett 30-tal ingångsdata och kostnadsslag som är sekretessbelagda, men de huvudsakliga kostnadsdrivande faktorerna både i storlek och där skillnaden mellan el och diesel är störst är följande: investering, restvärde, underhåll och reparationer, försäkring och bränsle.

Dessa beräkningar har genomförts på 3,5 tons fordon med elfordon som har 41 kWh respektive 55 kWh batteri (annat fordon än den MAN eTGE som används i projektet) samt dieseldrivnet motsvarande fordon och visar att idag är en fullelektrisk distributionsbil med 41 kWh batteri är ca 10% billigare än motsvarande dieseldrivna alternativ och en med 55 kWh batteri visar en nära försumbart lägre kostnad jämfört med diesel. När det gäller tyngre distributionslastbilar av typen Volvo FL 16 så är kostnaden per år för elektriskt fordon i storleksordningen 50% högre.

Detta visar sammantaget på både möjligheterna med fullelektriska fordon, att de redan idag visar på bättre ekonomi i full produktion än diesel i tex city-rutter men också utmaningen med större batterier och tyngre fordon där innovativa lösningar krävs, rimligen i kombination med kostnadsreduktion gällande investeringarna i dessa fordon. Även här är tex dynamisk

laddning via elväg något som minskar behovet av batterikapacitet och därmed kan vara en del av lösningen.



Figur 6 Lastbilen inkopplad för laddning på DHL's godsterminal i Malmö.

Val av elfordon

Distributionsfordon med helelektrisk drivlina som uppfyller de krav DHL ställer på lastkapacitet och räckvidd fanns överhuvud inte att tillgå då projektet startade och inte heller under projektiden.

Projektparten Coman AB vars verksamhet var att anpassa distributionsfordon till eldrift hade till uppgift att utveckla och tillhandahålla ett eldistributionsfordon med längre räckvidd till projektets lösning och demonstration. Dock gick Coman i konkurs under projektets gång efter insatser i utveckling och projektarbete utan att ha nått fram till en fungerande lösning.

Detta löste projektet efter att flertalet alternativ utvärderats genom att ett specialistföretag på elektriska drivlinor, Engineering Force (EF), övertog Comans roll i projektet samt ett av de fordonen från dem. Bedömningen var att EF besitter djup kompetens inom projektets kritiska områden avseende laddlösningar och fordonens ombordkomponenter för att säkerställa robust drift i samverkan med EIONRoad. Eftersom Coman gick i konkurs ersattes den planerade andra Coman-lastbilen av ett inköp av en MAN eTGE med c:a 35 kWh batteri. För den tänkta ruten i Malmö är detta fordons kapacitet tillräcklig. För ruten i Tibro/Mariestad krävs en mellanliggande snabbladdning.

På detta sätt har projektet kunnat arbeta vidare mot demofasen och projektmålen på det sätt som initialt avsågs. Detta var givetvis en kritisk fas i projektet och de två avgörande faktorerna för att ha goda förutsättningar för den fortsatta framdriften av projektet var dels att Engineering Force accepterade att överta Comans roll i projektets alla delar, dels att projektet hushållat med budgeten vilket säkrat nödvändiga resurser för att fullfölja projektet.

Kompetensuppbyggnaden är omfattande i projektgruppen där lärande från forskning och utveckling av laddsystem och elektriska drivlinor har överförts till transportbranschens aktörer samtidigt som transportörers produktion och förutsättningar har inneburit ett avgörande och omfattande lärande för de projektparter som representerar akademi, ladd- och drivlinelösningar.

Projektets ambition att inom demonstratorn driftsätta helelektriska distributionsfordon med automatiserad innovativ laddlösning i daglig produktion inom DHL samt under lång tid - 1 år för att täcka alla årstider och förhållanden - har genomförts.

I demonstrationsfasen har en distributionsbil varit i DHLs produktion i Malmö från januari 2020 till projektslutet juni 2021, dvs över 1 helt år i drift under samtliga förhållanden och årstider som uppstår i DHLs produktion. Denna rutt är ca 40-60 km per dag i tät stadsmiljö och fordonet har enbart laddats i terminal med EIONRoads markbaserade kontakterade laddskena och systemlösning. Driften har producerats av Falkenklev Logistik AB.

Demonstrationen omfattar även rutten i Tibro mot Mariestad som genomförts av Börje Näsström Åkeri AB. Här är utmaningarna helt annorlunda då rutten uppgår till ca 160 km körsträcka per dag.

Körning med elfordon

Det utvalda testfordonet har utrustats med tillfälliga GPS-sensorer för att logga användningen, huvudsakligen i Malmö, men även i Mariestad där samma fordon (samma individ) har använts av ovan förklarade skäl.

Laddplatsen och bussen i Malmö har också utrustats med sensorer i tvärsnitten A, B och C i Figur 5. Syftet med detta mätsystem är att utvärdera verkningsgraden hos denna typ av laddning.

Tibro/Mariestad

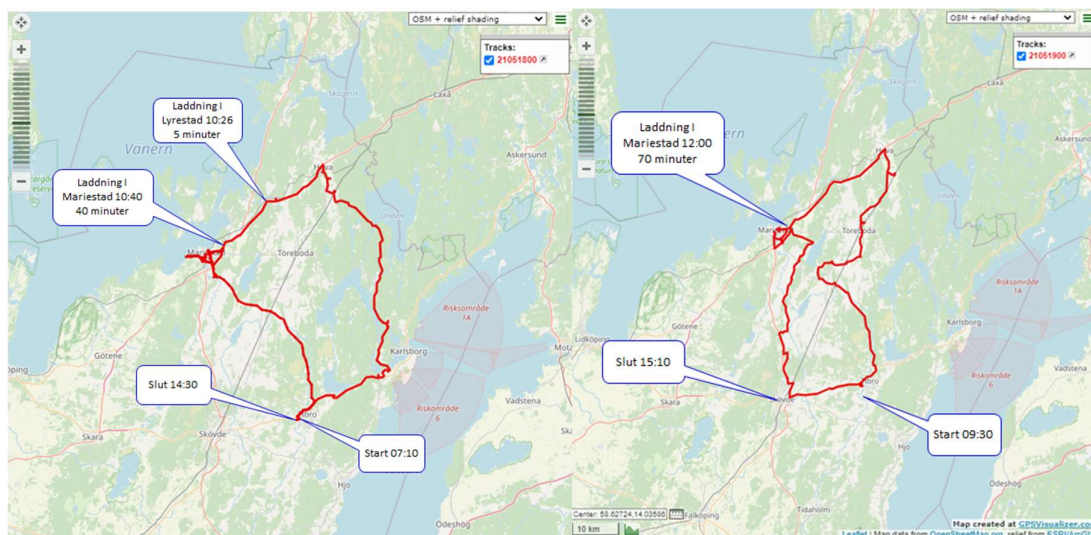
Endast en körning är gjord med den utvalda elektriska distributions-lastbilen som normalt sett använts i Malmö under projektet. Bilen har inte använts för pakethantering utan "skuggat" ett liknande fordon som utfört pakethantering i området. Figur 8 och Figur 9 visar körcykeln och hastighetsprofilen under dessa två dagar.



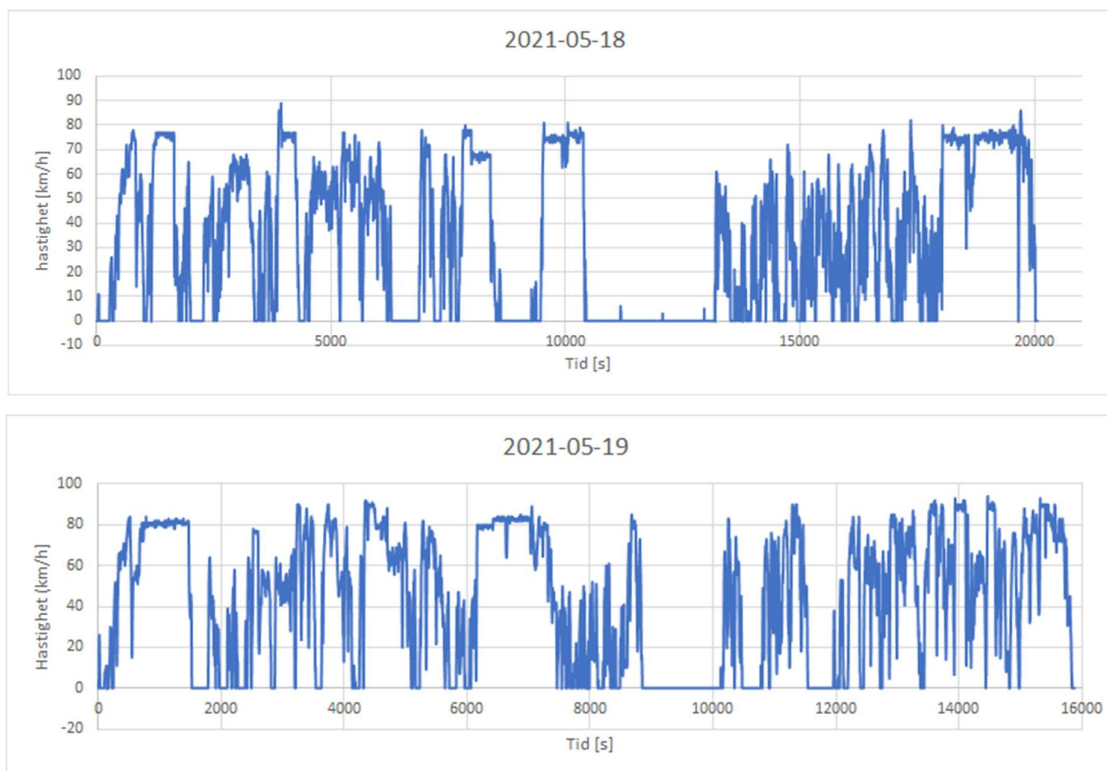
Figur 7 Från vänster: Den skuggade bilen inför start i Tibro, nödladdning av elbilen i Lyrestad samt fullladdning av densamma i Mariestad, allt den 2021-05-18.

Den första dagen (2021-05-18) tvingades den elektriska lastbilen att i Hova sluta "skugga" den lastbil som verkligen levererade gods pga brist på laddning och istället ta sig till Mariestad, där den laddades i 40 minuter. På vägen till Mariestad gjordes ett kortare stopp i Lyrestad med endast 5 minuter laddning. När lastbilen sedan återvänt till Tibro kl 14:30 kopplades den på nytt in för laddning inför nästa dags körning.

Den andra dagen tog en något annorlunda rutt än första dagen, men ungefär lika lång (nästan 200 km). När lastbilen återkom till Tibro den andra dagen hade den c:a 50 km räckvidd kvar, troligen beroende på den långa laddtiden (70 min) i Mariestad.



Figur 8 Körning i Mariestadstrakten två dagar i rad (2021-05-18 och 2021-05-19)

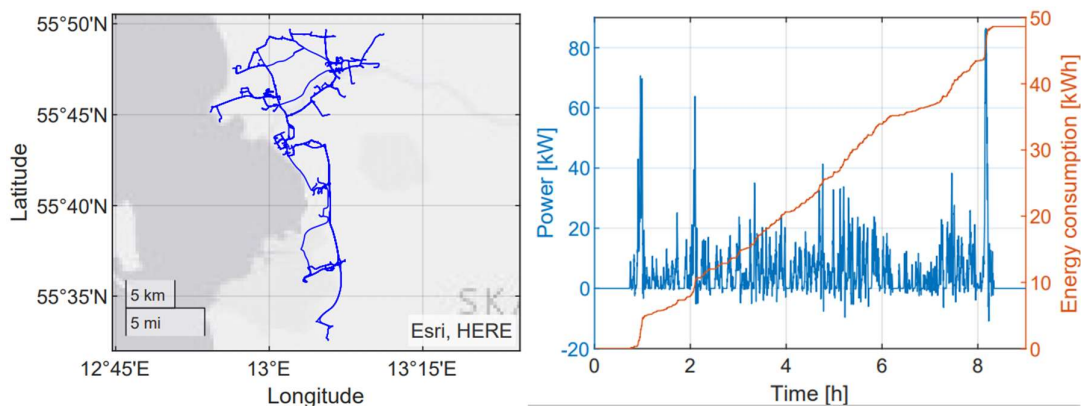


Figur 9 Körning i Mariestad 2021-05-18 samt 2021-05-19

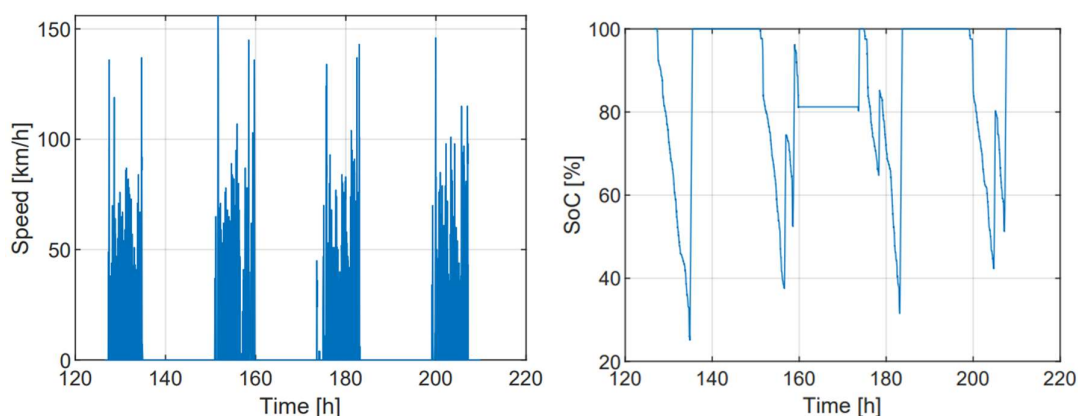
Notera att båda dagarnas körning bjduer på landsvägshastighet (80-90 km/h) och en ganska lång sträcka (knappt 200 km).

Malmö

I Malmö används den elektriska lastbilen för godsdistribution med olika rutter inom staden varje dag. Figur 10 visar ett exempel på hur en dags körning kan se ut



Figur 10 GPS-karta över en dags körning samt Motoreffekt och energianvändning under samma dag.



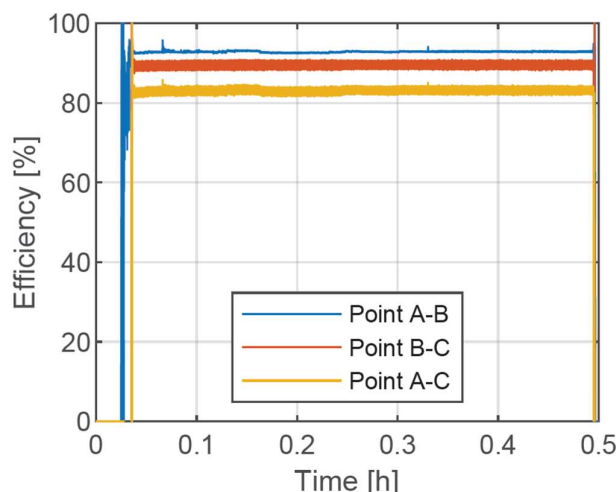
Figur 11 Hastighetsprofil och Laddningsnivå för 4 efterföljande dagar med mellanliggande laddning.

Laddning av elfordon

Projektet ansåg denna målsättning att med robotiserad/automatiserad laddning stationärt i terminal med elväg i DHLs produktion vara ett utmanande mål med tanke på konsekvenserna med uteblivna paketleveranser om lösningen fallerat.

Laddningsverkningsgrad

Mätningar av den elektriska effekten i en rad laddningssessioner vid 7.2 kW näteffekt har utförts i tvärsnitten A...C i Figur 5. Ur dessa mätningar erhålls en verkningsgrad om c:a 83% (gul kurva i Figur 12). Denna stämmer mycket bra med beräkningarna som åteges i Tabell 2, där verkningsgraden för diodlikriktare och 48VDC/400VAC-omvandlaren är $92,4 \times 90\% = 83,2\%$.



Figur 12 Verkningsgrader beräknade ur filtrerade effektmätningar vid laddning vid 7.2 kW och 48 VDC skenspänning enligt Figur 5b.

Driftsäkerhet

Produktionen har löpt mycket väl under hela demoperioden med ett fåtal dagars undantag då full laddning av fordonets batterier ej skett över natten. Detta har berott på några olika mindre fel. Den avtagare som använts i projektet är en tidig version där mjukvaran som övervakar systemet uppdaterats efterhand under de 1,5 år som projektet har löpt. Några avbrutna laddsekvenser beror på att sensorvärden överskridits. Avtagaren faller då upp automatiskt. Normalt skickas ett larm till vår driftavdelning. Efter larm har vi fällt ner avtagaren och startat om laddningen på distans via vår Ladd-app. Några tillfällen har ett mjukvarufel orsakat att laddningen inte kunde startas på distans.

I maj 2021 upptäcktes en lös skruv vid en av strömkablarna. Detta ledde till att all ström gick på en sida istället för att fördelas på två ledningar. En temperatursensor varnade då för hög temp och avbröt laddningen. Detta fel kom och gick under 1 månad och orsakade flera avbrott innan vi fick ta in elbilen på service i vår verkstad och kunde lokalisera felet. Efter åtgärd fungerar systemet igen.

Laddning av hela lastbilsflottan vid DHL i Malmö

I denna delstudie undersöker vi villkoren och begränsningarna för elektrifiering av fordon anslutna till DHL: s logistikterminal i Malmö, Sverige, med en kombination av takmonterade solceller, litiumjonbatterilagring och vätgas.

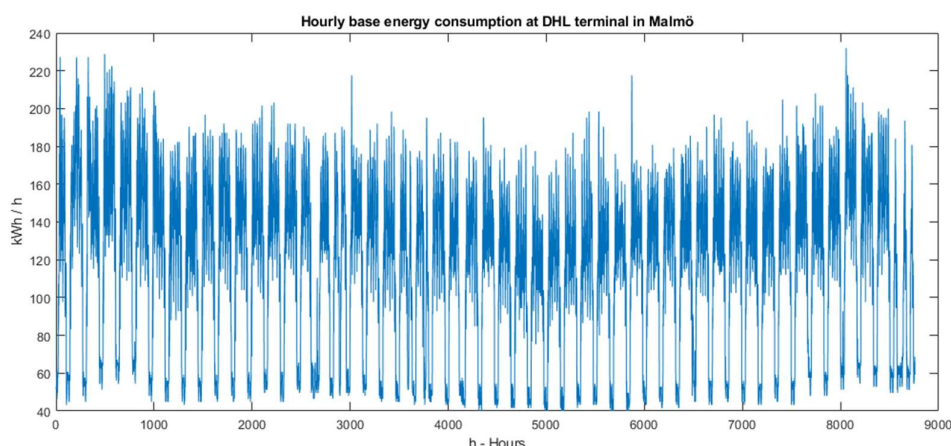
Arbetet är en förstudie till ett fortsatt projekt med målet att förstå de utmaningar man måste möta för en fullständig elektrifiering av alla lastbilar som trafikerar DHL's terminal i Malmö. De flesta av dessa opereras av åkeriet Falkenklev som har sina lokalet ett stenkast från DHL's egen terminal i Malmö. Det som återges här är endast en sammanfattning av det arbetet.

Arbetet utgår från varje enskilt fordon's körsträcka och predikterade elektriska energibehov (om elektrifierade) enligt Figur 3. Med det som grund, och kännedom om när på dagnet och året som dessa fordon behöver laddas, om tillgången på effekt från elnätet, om anläggningens takyta (DHL's terminal och Falkenklevs terminal dsammanräknade) för

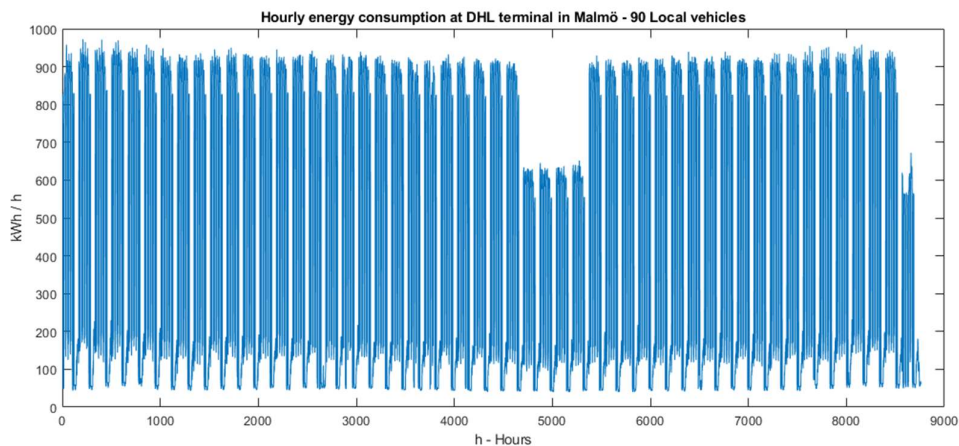
potentiell användning av solceller samt slutligen antaganden om en möjlig säsongslagring av elenergi i vätgastankar, så har en rad fall studerats:

1. Elförbrukningen idag (utan elektriska lastbilar)
2. Elförbrukningen om ALLA regionala transporter sker elektriskt och ALLA dessa nattladdas.
3. Elförbrukningen om ALLA regionala och alla långdistanstransporter nattladdas, med speciella antaganden om när långdistanstransporter måste nattladdas. Det måste ske i ett litet tidsfönster om några timmar nattetid.
4. Tillgången på solenergi om alla tak används maximalt. Instrålningen bygger på historiska data från de senaste åren med tim-upplösning.
5. Behovet av elenergi från elnätet om elenergi lagras i batterier från dag till natt samt i vätgas från sommar till vinter, med följande prioriteringsordning
 - a. Ladda i första hand fordon från solenergi
 - b. Driv i andra hand den lokala processen (pakethantering mm, upp till c:a 200 kW) med solenergi
 - c. lagra i tredje hand överskott av solenergi i batterier
 - d. Lagra i fjärde hand solenergi i vätgas.
 - e. Återmata i femte hand överskott av solenergi till elnätet.
 - f. Vid underskott av solenergi, ta i första hand från batterier, i andra hand från vätgas och i tredje hand från elnätet.

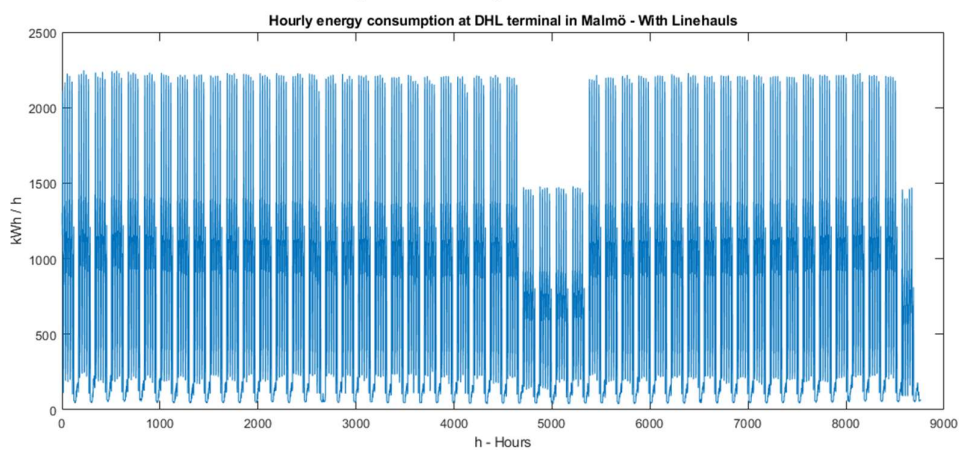
Figureerna nedan visar på de viktigaste resultaten av denna studie:



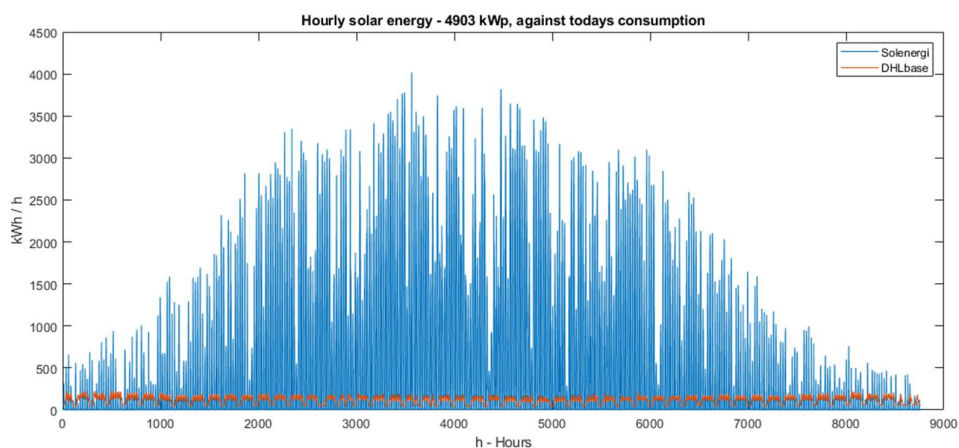
Figur 13 Elnätseffekt till DHL's terminal utan någon form av laddning av elfordon.



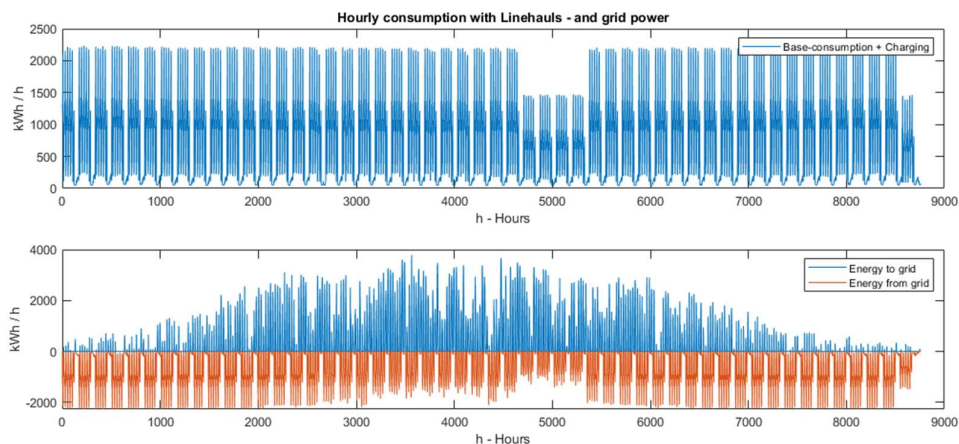
Figur 14 *Elnätseffekt om all regional transport sker med enbart elektrifierade fordon*



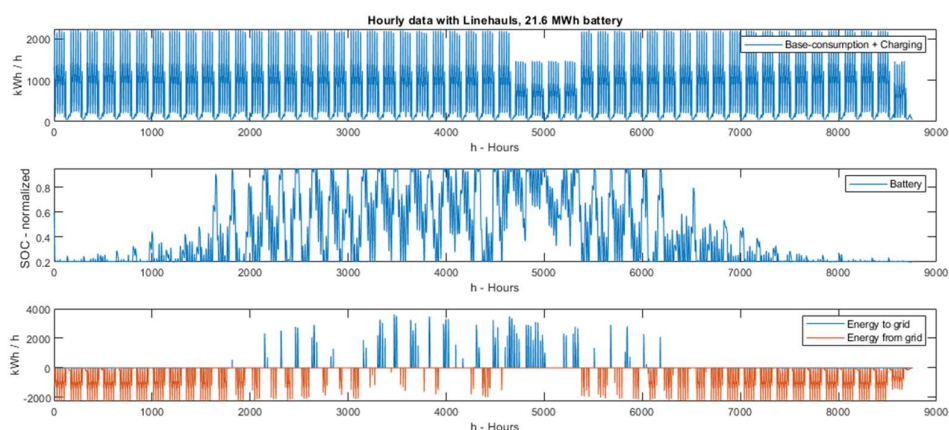
Figur 15 *Elnätseffekt om att regional och interregional (mellan DHL's terminaler) alla sker med helt elektrifierade fordon som alla laddas på DHL's och Falkenklevs terminaler.*



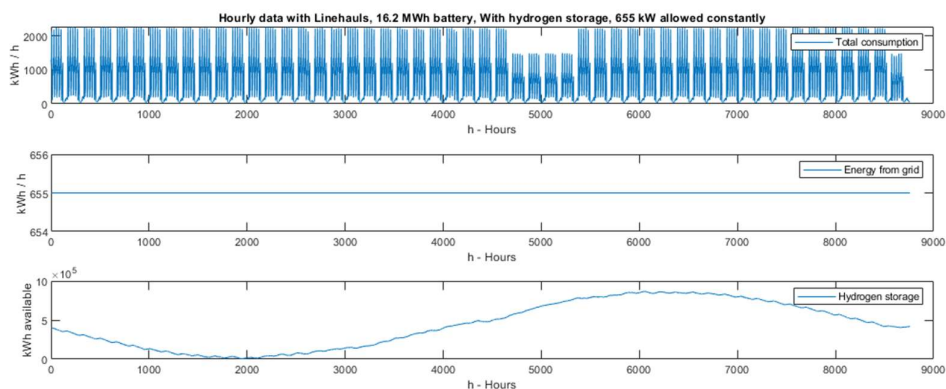
Figur 16 *Effekt från solceller om alla tak (DHL's och Falkenklevs terminaler, totalt 26000 m2 solceller) utnyttjas maximalt.*



Figur 17 Total konsumtion med laddning (överst, samma som figur XX) och elnätseffekt med solcellerna inkluderade.



Figur 18 Total konsumtion med laddning (överst, samma som figur XX), batterilagring i 21.6 MWh batterier och elnätseffekt med solcellerna inkluderade.



Figur 19 Total konsumtion med laddning (överst, samma som figur XX) med batterilagring batteri- och vätgaslagringsamt konstant elnätseffekt året om (mitten) och innehåll i vätgaslagret (nederst).

Av dessa beräkningsresultat kan man dra slutsatsen att en full elektrifiering utan lokal elproduktion eller lokal lagring skulle kräva en ökning av den ur elnätet uttagna effekten från drygt 200 kW (Figur 13) till drygt 2 MW (Figur 15), dvs en ökning med c:a 10 gånger. Samtidigt kan den andra ytterligheten, att producera så mycket lokal elenergi som möjligt med solceller på de relativt stora takytorna samt lagring i batterier och vätgas, reducera den u elnätet uttagna effekten till c:a 600 kW, dvs en ökning med c:a 3 gånger.

Dessa beräkningar skall ses som de approximationer de är. Inga ekonomiska modeller är gjorda för vare sig solcellsinstallation, batterilagring, vätgaslagring eller en förstärkning av anslutningen till elnätet. Därmed är inget av de modellerade fallen en rekommenderad lösning utan syftar bara till att ge en uppfattning om storleksordningarna på de åtgärder som kan behövas för en fullskalig elektrifiering av alla lastbilar på DHL's terminal i Malmö.

En vidare studie av detta är nödvändigt och i skrivande stund redan startat i ett efterföljande projekt.

7. Spridning och publicering

Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?		Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Mycket praktisk erfarenhet av automatisk laddning, av räckviddsbegränsningar och fordonskapacitet i verklig drift.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Efterföljande projekt är redan startade med DHL, där elektrifiering av hela lastbilsflottan vid en terminal modelleras, delvis baserat på erfarenheterna från detta projekt.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Elonroad arbetar med kommersialisering av den elvägsbaserade statiska laddare som provats i prototypform i detta projekt.
Introduceras på marknaden	X	Elonroad arbetar med kommersialisering av den elvägsbaserade statiska laddare som provats i prototypform i detta projekt.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut	X	Erfarenheten av arbetet med detta projekt har använts av dels Mats Alakula i arbetet med Elvägsutredningen, samt av Dan Zethreus i arbete med standardisering av dynamisk laddning.

Publikationer

Projektet har varit en exercis i praktisk tillämpad elektroteknik och i mindre utsträckning en grund för akademiska publikationer. Med nära relaterad forskning inkluderad kan följande akademiska publikationer helt eller delvis räknas som resultat av projektet:

- Marqu  z-Fernand  z, F.J., Bischoff, J., Domingues-Olavarria, G., Alak  la, M. (2021), "Assessment of future EV charging infrastructure scenarios for long-distance transport in Sweden". *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. x, no. x, pp. xx-xx (accepted)
- Abrahamsson, P., Wenander, D., Alak  la, M., Marqu  z-Fernand  z, F.J., Domingues-Olavarria, G. (2020), "Automatic static charging of electric distribution vehicles using ERS technology". *2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)*, Chicago, ILL., USA, 24-26 June 2020.
- Karlsson, A., Alak  la, M. (2020), "Integrated and isolated EV charger for AC and Electric Road applications". *2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Sorrento, Italy, 24-26 June 2020, pp. 114-119.
- Abrahamsson, P., Marqu  z-Fernand  z, F.J., Alak  la, M. (2019), "Thermal modeling and analysis of an alternating short-segmented conductive ERS". *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 5, no. 4, pp. 1078-1086, Dec. 2019
- Domingues-Olavarria, G., Marquez-Fernandez, F.J., Fyhr, P., Reinap, A., Andersson, M., Alak  la, M. (2019), "Optimization of electric powertrains based on scalable cost and performance models". *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 1, pp. 751-764.
- Abrahamsson, P., Marqu  z-Fernand  z, F.J., Alak  la, M. (2019), "Thermal assessment of an ERS for static charging of electric vehicles". *IEEE International Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Novi, MI, USA, 19-21 June, 2019.
- Abrahamsson, P., Marqu  z-Fernand  z, F.J., Alak  la, M. (2019), "Thermal modeling of an ERS during dynamic charging". *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, Hanoi, Vietnam, 14-17 October, 2019.

Projektet har   ven kommunicerats till intressentgrupper b  de inom forskning och innovation samt inom transportindustrin. Detta har skett genom Sustainable Innovations seminarier och n  tverkskommunikation, via sustainableinnovation.se samt genom pressrelease d  r tv   tidningar plockade upp nyheten, se nedan samt genom att DHL publicerade den p   LinkedIn som uppn  dde en r  ckvidd i paritet med andra inl  gg DHL, s  rskilt klick till att l  sa hela artikeln noterades ligga relativt h  gt.   ven antal delningar   r ocks   n  got h  gre   n normalt.



8. Slutsatser och fortsatt forskning

När projektet startade fanns det inga helt elektriska distributionslastbilar i någon viktclass som skulle kunna ersätta funktionen av de dieseldrivna fordon som används av DHL och dess underleverantörer idag. Under projektet gång har detta ändrats något. Idag finns det sådana 3.5 tons lastbilar med batterier upp till drygt 50 kWh men det är inte tillräckligt för 30 mils räckvidd och de kan därför fortfarande inte användas för alla de dagliga uppdrag som deras dieseldrivna motsvarigheter klarar. Tekniken för att installera större batterier finns sedan länge men i mindre lastbilar tar en ökning av batterivikten för mycket av nyttolasten vilket, som beräkningsresultaten i denna rapport visar, gör att elektrifiering av dessa lastbilar för alla normala räckvidder inte ger någon kostnadsfördel. En ökning av tillåten fordonsvikt till 4,25 ton på B-körkort skulle ge både plats för större batterierna och bevarad lastkapacitet. Projektet har påtalat detta för Transportstyrelsen. Dock kvarstår frågan kostnadseffektivitet med väsentligt större batterier. När det gäller tyngre distributionslastbilar av typen Volvo FL 16 så är kostnaden per år för elektriskt fordon i storleksordningen 50% högre.

Projektet visar att problemet som helhet inte är löst. För att fullt elektrifiera alla fordon vid en godsterminal som DHL's i Malmö och ladda dem genom nattladdning så krävs en betydande ökning av anläggningens uttag av elektrisk effekt och energi från elnätet. Utan någon form av lokal elproduktion eller ellagring handlar det om storleksordningen 10 gånger högre elektriskt effektuttag från elnätet. Med vad vi idag kan se som extrema lösningar av så mycket solceller som får plats på terminalens tak, med flera 10-tals MWh batterilagring och ännu större vätgaslager så kan denna ökning av det elektriska effektuttaget minska till c:a 3 gånger.

Det finns alltså en teknisk lösning som kan se lovande ut, men för att reda ut vad som är rimligt i förhållande till vad som är möjligt, måste kombinationen av förstärkning av elnätet, lokal elproduktion och lokal energilagring i olika former modelleras ur åtminstone ett kostnadsperspektiv. Därtill kommer att interregionala transporter kan minska sitt behov av

laddning vid terminal mycket genom att samma fodon laddas under färd, endera på snabbladdstationer längs vägen (alltså INTE på någon annan terminal!) eller på elvägar.

Arbetet med att göra dessa kostnads-modeller är skrivande stund precis påbörjat i projektet Terminalladdning av Elektriska Distributionsfordon - TED, 2020-05142 FFI Vinnova i samarbete med bl.a DHL.

9. Deltagande parter och kontaktpersoner

Projektparterna har tillsammans med underleverantören ELonroad arbetat nära under hela projektet 2016 - 2021. Två parter har bytts under projektiden, dels Coman som gick i konkurs och dels Alelion Energy Systems som var deras batterileverantör. Dessa har ersätts med Engineering Force AB respektive Micropower Lionova AB. Aktuella projektparter är:

- Sustainable Innovation, [Roland Elander](mailto:roland.elander@sust.se) roland.elander@sust.se 070-539 73 55
- DHL Freight, [Ulf Hammarberg \(DHL SE\)](mailto:ulf.hammarberg@dhl.com), ulf.hammarberg@dhl.com 070-649 11 99
- Lunds Universitet, [Mats Alakula](mailto:mats.alakula@iea.lth.se), mats.alakula@iea.lth.se 070-558 92 84
- Mariestads Kommun, Susanne Wallner, susanne.wallner@mariestad.se 076-637 71 08
- Vattenfall, Colin Stewart, colin.stewart@vattenfall.com 070-553 82 19
- Engineering Force, [Gordon Strömfelt](mailto:gordon@e4s.se) gordon@e4s.se 076-172 99 50
- VänerEnergi, [Harald Boumaharald.bouma@vanerenergi.se](mailto:Harald.Boumaharald.bouma@vanerenergi.se) 0501-637 41
- Micropower, Torbjörn Sundström, torbjorn.sundstrom@micropower.se 073-545 27 21