



E-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon

E-DEL slutrapport

JESSICA WEHNER, CHALMERS INDUSTRITEKNIK

MALIN JACOBSSON, CHALMERS INDUSTRITEKNIK

KLAS HEDVALL, CHALMERS INDUSTRITEKNIK

LEVERANS NR: 1

Projektnummer 2020.3.2.6
Titel på projektet – svenska E-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon (E-DEL)
Titel på projektet – engelska E-commerce distribution of food in cities with electric vehicles (E-DEL)
Projektledareorganisation Chalmers Industriteknik
Namn på projektledare Jessica Wehner
Namn på ev övriga projektdeltagare Malin Jacobsson, Klas Hedvall, Hafþís Jónsdóttir, Andreas Magnusson, Johan Ekestang, Paul Fenton, Victoria Herslöf, Ali Ghoce, Elion Najim, Kristina Liljestrand, Niklas Zeitlin, Hans Sahlin
Nyckelord: 5-7 st elektrifiering, elfordon, hemleverans, kylsystem, livsmedelstransporter, sistamilen

Sammanfattning

I projektet ”E-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon” (E-DEL) undersöktes hur användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer kan möjliggöras genom att identifiera utmaningar kopplade till logistiksystem, infrastruktur och teknik.

Då e-handeln av livsmedel växer kraftigt är sistamilen leveranser ett viktigt område i den större omställningen till ett fossilfritt Sverige till 2045. Omställningen av livsmedelstransporter till elfordon står dock inför fler utmaningar än andra godstransporter eftersom de måste säkerställa en obruten kylkedja för de temperaturkänsliga produkterna. Batterier för elfordon är tunga, vilket begränsar lastkapaciteten. Lager för de stora e-handelsleverantörerna byggs idag utanför de större städerna i Sverige. Det innebär att elfordonen behöver tillräcklig batterikapacitet för att kunna klara leverans från lager till kunder och samtidigt kyla varorna.

I genomförbarhetsstudien visade det sig att cirka en tredjedel av leveransrutterna i stan kan redan idag täcks av elfordon. Om förutsättningar förändras kan även en större del av sistamilen-transporter av livsmedel förflyttas till elfordon. Ruttplanering måste anpassas till elfordon och det måste ta hänsyn till hastighet, lastkapacitet, distans. Studien bidrar med ett systemperspektiv där utmaningar kopplat till logistiksystem, infrastruktur och teknik betraktas och utvärderas. Under projektet genomfördes ett antal praktiska tester med ett elfordon med ett aktivt kylsystem för att utvärdera användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer.

Projektet E-DEL finansierats av Triple F samt projektdeltagarna har bidragit med insatser i form av eget arbete. I projektgruppen ingått:

Jessica Wehner, Malin Jacobsson, Klas Hedvall, Hafþís Jónsdóttir	Chalmers Industriteknik
Hans Sahlin	Castellum
Niklas Zeitlin	Coop Sverige AB
Andreas Magnusson, Johan Ekestang	E-Tron AB
Ali Ghoce, Elion Najim, Kristina Liljestränd	Gordon Delivery
Paul Fenton, Victoria Herslöf	Stockholms Stad

Summary

The project "E-commerce distribution of food in cities with electric vehicles" (E-DEL) investigated how the use of electric vehicles for e-commerce distribution of food in cities can be made possible by identifying challenges related to logistics systems, infrastructure and technology.

As e-commerce of food grows strongly, last-mile deliveries are an important area in the major transition to a fossil-free Sweden by 2045. However, the transition of food transport to electric vehicles faces more challenges than other freight transport because they must ensure an unbroken cold chain for temperature-sensitive products. Batteries for electric vehicles are heavy, which limits the load capacity. Warehouses for the large e-commerce suppliers are currently being built outside the major cities in Sweden. This means that electric vehicles need sufficient battery capacity to be able to handle delivery from warehouses to customers and at the same time cool the goods.

The feasibility study showed that about a third of the delivery routes in the city can already today be covered by electric vehicles. If conditions change, a larger part of the last-mile transports of food can additionally be transferred to electric vehicles. Route planning must be adapted to electric vehicles, and it must take into account speed, load capacity, distance. The study contributes with a systems perspective where challenges linked to logistics systems, infrastructure and technology are considered and evaluated. During the project, a number of practical tests were carried out with an electric vehicle with an active cooling system to evaluate the use of electric vehicles for e-commerce distribution of food in cities.

The E-DEL project is funded by Triple F and the project participants have contributed in form of their own work. The project group included:

Jessica Wehner, Malin Jacobsson, Klas Hedvall, Hafþís Jónsdóttir	Chalmers Industriteknik
Hans Sahlin	Castellum
Niklas Zeitlin	Coop Sverige AB
Andreas Magnusson, Johan Ekestang	E-Tron AB
Ali Ghoce, Elion Najim, Kristina Liljestrand	Gordon Delivery
Paul Fenton, Victoria Herslöf	Stockholms Stad

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
Innehållsförteckning	4
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund och utmaningar	6
1.2 Projektets syfte och mål	7
1.3 Finansiering, projektramar och parter	8
1.4 Rapportens upplägg	9
2 Bidrag till Triple F	10
2.1 Introduktion	10
2.2 Bidrag till Triple F	10
2.2.1 Projektets bidrag i ett Logistikperspektiv	10
2.2.2 Projektets bidrag i ett Teknikperspektiv	11
2.2.3 Projektets bidrag i ett Policyperspektiv.....	11
3 Genomförande	12
3.1 Arbetsprocess	12
3.2 Utvärderingar	13
3.2.1 Datamodellering	13
3.2.2 Test med E-Trons elfordon i Tumba	15
3.2.3 Komparativ jämförelsestudie	16
3.2.4 Användning av mikroterminal	17
3.2.5 Kyl och frys: Identifiering av fryslösningar och test av läckage genom öppen dörr.....	18
4 Resultat	19
4.1 Resultat av utvärdering	19
4.1.1 Datamodellering	19
4.1.2 Test med E-trons elfordon i Tumba.....	19
4.1.3 Komparativ jämförelsestudie	22
4.1.4 Användning av mikroterminal	23
4.1.5 Kyl och frys: Identifiering av fryslösningar och test av läckage genom öppen dörr.....	23
4.2 Slutsatser	25
5 Nyttiggörande och nästa steg	27
5.1 Nyttiggörande och effektlogik	27
5.2 Nästa steg	28
5.3 Spridning	30
6 Diskussion	32
Referenslista	34
Bilaga 1: Mätprotokoll	35

Bilaga 2: Instruktioner för genomförande av separat experiment "Läckage av kyla genom öppen dörr" 37

Bilaga 3: Masteruppsats..... 38

1 Inledning

I denna inledning beskrivs bakgrunden till projektet. Det ges en inblick i nuläge och utmaningar inom sistamilen leveranser inom dagligvaruhandeln lyfts fram. Inledningen presenterar även projektets syfte, samt ramar och projektparter.

1.1 Bakgrund och utmaningar

Enligt Trafikverket (2020) stod transportsektorn år 2018 för en tredjedel av de inhemska utsläppen av växthusgaser. Trafikverket (2020) pekar även på att den absolut största delen av dessa utsläpp i sin tur kommer från vägtrafiken. Samtidigt pekar Trafikanalys (2016) på att vägtransporter av gods förväntas att öka mest av alla typer av trafikslag under de kommande åren och Transport Decarbonisation Alliance (TDA, 2019) på att de urbana transporterans del av det totala antalet fordonskilometer som vägfrakten står för (idag ca 50%) kommer att öka.

För att nå de klimatpolitiska målen avseende transportsystemet i Sverige – en minskning av utsläppen med 70% senast år 2030 jämfört med 2010 och noll nettoutsläpp år 2045 – behöver vägtransporterna både effektiviseras och ställas om för nyttjande av andra energikällor än de fossila. Även transporter för ”sistamilen”, som en viktig del av det totala transportsystemet, behöver transformeras för att möjliggöra ökad effektivitet, minskat energiuttag och minskade utsläpp. Detta blir speciellt viktigt då även kapacitetsbehovet för sistamilen transporter förväntas öka (Halldorsson och Wehner, 2021).

Inom detaljhandeln är dagligvaruhandeln den största branschen och omsatte under 2019 närmare 310 miljarder kronor av detaljhandelns totalt ca 812 miljarder kronor (Svensk Handel, 2021). När det gäller e-handel specifikt, så har emellertid dagligvaruhandeln hittills visat på lägre siffror än andra branscher. Tillväxten har dock varit markant och dagligvaror är den bransch inom svensk detaljhandeln som haft högst tillväxt inom e-handelssegmentet (Trafikanalys, 2020). E-handeln för dagligvaror ökade under 2020 från 2% till 4% av dagligvaruhandelns totala omsättning (Svensk Dagligvaruhandel, 2021; Svensk Handel, 2021).

Enligt Postnord (2021a) har 32% av e-handelskunderna köpt matvaror online under 2020. Även om ”Click & Collect” vunnit mark under pandemin förutspår Postnord (2021b) att hemleveransens andel av försäljningen kommer att öka igen. Dagligvaruindex (HUI, 2021) visar på en försäljningsutveckling av e-handel med hemleverans på drygt 24% mellan november 2020 och november 2021. Att hitta effektiva och hållbara distributionslösningar för e-handel i urban miljö är därför ett högt prioriterat område.

För sistamilen leveranser är vägtrafik det dominerande transportsättet och det är ofta inte möjligt att byta till andra transportslag för denna typ av transporter (Lindholm & Behrends, 2012). Det är därför viktigt att utnyttja potentialer för effektivisering av transportsystemet och utnyttja fordon med låg miljöpåverkan. För transporter i urban miljö diskuteras därför ofta en övergång till elfordon för att minska utsläppen.

Då e-handeln för livsmedel anses vara i sin linda finns det goda förutsättningar för att ”göra rätt från början” och införa fossilfria fordon i systemet innan marknaden hunnit växa ännu mer. Inom andra varugrupper finns goda exempel på hur elfordon kan användas och projekt pågår för att skynda på denna utveckling. Nyttjandet av elfordon för livsmedelstransporter står dock inför fler utmaningar än många andra godstransporter eftersom transportsystemet måste säkerställa en obruten kylkedja för de temperaturkänsliga produkterna. Batterier för lätta lastbilar kan vara tunga vilket påverkar lastförmågan, och behovet av energi för att driva kylanordningar gör batterierna även tyngre. I Sverige finns det redan idag elfordon med kylanordningar, men fordonen är relativt små och smala för att möjliggöra transporter

på mindre gator¹. Fordonens lastkapacitet är därför begränsad och de kan därför inte användas för merparten av dagens e-handelsleveranser av livsmedel.

De befintliga logistiksystemen för e-handel sätter också upp ytterligare barriärer för användandet av elfordon. De stora e-handelsleverantörerna etablerar idag sina lager utanför de städer inom vilka leveranserna sedan skall ske (Trafikanalys, 2015). Det innebär att körsträckorna blir långa och att dagens elfordon inte har tillräcklig batterikapacitet för att kunna klara kompletta leveranser från lager till kunder utan kompletterande laddning. Detta leder till ett behov av omlastningscentraler där omlastning sker från större till mindre fordon. Under en distributionsrunda med livsmedel görs cirka 60–90 stopp. De många stoppen – med tillhörande dörröppningar – gör att ytterligare kylkapacitet krävs för att garantera en obruten kylkedja. Teoretiskt sätt kan man bygga fordon som klarar långa sträckor och många stopp, men på grund av batteriernas vikt och dagens teknik skulle detta resultera i en begränsad lastkapacitet. Med sådana begränsningar skulle distributionssystem inte bli ekonomiskt lönsamma.

1.2 Projektets syfte och mål

För att lyckas med elfordons-baserad e-handelsdistribution av livsmedel i städer så krävs det ett systemperspektiv. Det är viktigt att samtidigt beakta tekniken (primärt fordonens kylanordningar och batterikapacitet), infrastrukturen (i form av omlastnings- och laddningscentraler) samt logistiksystemet (till exempel rutter, antal stopp, volymer, kundkrav osv.). Genom att samtidigt beakta dessa aspekter har projektets syfte varit att *utvärdera hur användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer kan möjliggöras*. Med ett fokus på omställning till fossilfria leveranser inom den snabbt växande marknaden av e-handelsleveranser av livsmedel bidrar projektet och dess resultat sålunda till det svenska godstransportsystemets omställning till fossilfrihet.²

Projektets syfte delades upp i två mål: 1) utvärdera hur användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer kan möjliggöras genom att identifiera utmaningar kopplade till *logistiksystem, infrastruktur, och teknik* samt 2) att tillsammans med projektpartners utvärdera systemlösningar omfattande de tre komponenterna.

Inom ramarna för dessa mål har sex områden undersökts:

1. Goda exempel på användning av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i Sverige och internationellt
2. Nuvarande barriärer för användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer
3. Anpassning/Utveckling som krävs för att dagens logistiksystem för e-handelsdistribution av livsmedel skall kunna använda elfordon
4. Vad som krävs ur ett infrastrukturperspektiv för att tillgängliggöra omlastnings- och laddningscentraler för elfordon
5. Krav som ställs på en teknisk lösning (primärt avseende batteri och kylning) med avseende på utformning av logistiksystem och infrastruktur
6. Utformning av systemlösningen med beaktande av logistiksystem, teknik och infrastruktur.

¹ Pressmeddelande: "Eldrivna kylfordon för fossilfria livsmedelsleveranser i stadsmiljö", från 7 januari 2020. Online: <https://www.mynewsdesk.com/se/e-tron-ab/pressreleases/eldrivna-kylfordon-foer-fossilfria-livsmedelsleveranser-i-stadsmiljoe-2958194>.

² De utsläpp som uppstår som konsekvens av elproduktionen omfattas inte av projektets avgränsning. Storleken av dessa utsläpp avgörs av den primära energikällan, men antas för projektet vara betydligt mindre än vad fossila bränslen ger upphov till.

1.3 Finansiering, projektramar och parter

Projektet ”E-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon” (E-DEL) som letts av Chalmers Industriteknik startade i september 2020 och pågick till slutet av januari 2022. Projektet har finansierats genom 0,5 miljoner från programmet Triple F, Trafikverkets forsknings- och innovationssatsning med syfte att bidra till det svenska godstransportsystemets omställning till fossilfrihet, och med ytterligare 0,5 miljoner SEK i form av medfinansiering från projektets parter.

Projektet har fokuserat på transportsystemet för e-handel av livsmedel med en sista-milen distribution utförd av elfordon. Transportsystemet har studerats genom praktiska tester involverande ett elfordon med aktiv kylning, ett fordon som vid projektets start var ett av de allra första i sitt slag på den svenska marknaden. Testerna genomfördes i centrala Stockholm samt i förorten Tumba. Projektets resultat gäller för sista-milen distribution av livsmedel i städer. Distribution på glesbygden – ofta omfattande större distanser mellan terminaler och hushåll – ställer andra krav på både elfordon, logistiksystem och infrastruktur och var inte del av projektet.

Projektkonsortiet har omfattat parter som tillsammans representerat det studerade systemets alla tre delar – logistiksystemet, tekniken och infrastrukturen. E-DELS projektparter listas och beskrivas nedan.

Logistikföretag för sista-milen distribution av livsmedel: Sista-milen transportören Gordon Delivery har fokus på e-handelsdistribution av livsmedel och finns etablerade i flera svenska städer. Gordon Delivery erbjuder digitalisering och automatisering för att förenkla kyllda sista-milen leveranser.

Elfordonsutvecklare: E-Tron AB är en specialist inom utveckling och tillverkning av elfordon och har funnits på den nordiska marknaden sedan 1993. E-Tron fokuserar på elfordon för citylogistik och industrin med hänsyn på arbetsmiljö, säkerhet och hållbarhet. Elfordonet med aktiv kylning som används för projektets fysiska tester har tillverkats av E-Tron AB.

Dagligvaruhandlare med e-handel: Med Coop Online, Coops e-handelsdivision, som projektpart har projektet kunnat dra nytta av en god insyn i hur e-handelssystem för livsmedel är uppbyggda idag och hur de kommer att utvecklas de kommande åren.

Fastighetsägare: Castellum är ett fastighetsbolag som huvudsakligen äger kommersiella fastigheter för kontor, butik, lager och industri. Castellum har bidragit med sitt perspektiv på utveckling av infrastruktur för e-handelsdistribution av livsmedel i städer.

Kommun/Stad: Sveriges kommuner vill skapa fossilfria städer till 2045 och i detta mål har transporter en viktig roll. Stockholms stad har varit projektpart och bidragit med ett samhällligt helhetsperspektiv med avseende på logistiklösning och infrastrukturen för sista-milen transporter.

Projektledning: Chalmers Industriteknik (CIT) har varit projektledare och säkerställt koordination, kommunikation och resultatspridning. CIT har bidragit med sin erfarenhet av att arbeta systemövergripande med aktörer i hela försörjningskedjan för att uppnå hållbara och cirkulära system.

Under projektets gång, fanns möjligheten att samarbeta med projektet HALLO³ (”Hubbar för sista-milen leveranslösningar”) och som studerar användandet av mikroterminaler i städer. Genom projektet HALLO, som letts av Stockholms stad vilka samtidigt varit en av E-DELS projektdeltagare, kunde ett gemensamt test genomföras. Vid detta test fokuserade projektet HALLO på mikroterminaler (läge,

³ För mer information om projektet HALLO, besök: <https://www.eiturbanmobility.eu/projects/hubs-for-last-mile-delivery-solutions/>

policy, utförbarhet) i innerstaden medan projektet E-DEL fokuserade på logistiksystemet och infrastrukturen för elfordon.

1.4 Rapportens upplägg

Kapitel 2 beskriver hur projektets resultat bidrar till Triple Fs program mål.

Kapitel 3 beskriver projektets genomförande samt metoder för insamling och analys av data.

Kapitel 4 presenterar resultaten från utvärderingarna.

Kapitel 5 beskriver nyttiggörande och projektets förhållande till långsiktiga mål samt ger förslag till nästa steg och beskriver hur resultaten spridas.

Kapitel 6 diskuterar projektets resultat i ett Triple F sammanhang samt belyser vilka effekter i samhället som projektet kan förväntas leda till.

2 Bidrag till Triple F

I detta kapitel belysas hur projekt E-DEL bidrar med ny kunskap som stöttar Triple Fs arbete och program mål. För en detaljerad genomgång av projektets specifika resultat hänvisas till Kapitel 4, 5 och 6.

2.1 Introduktion

Triple F är en nationell arena för tvärvetenskapligt och tvärorganisatoriskt samarbete där målet i form av en omställning till ett fossilfritt godstransportsystem står i centrum. I detta arbete understryker Triple F vikten av ett trafikslagsövergripande systemperspektiv där funktionalitet i systemet betonas. Triple F pekar på två övergripande mål med arbetet: 1) stötta och facilitera omställningen till ett fossiloberoende godstransportsystem genom forskning och utveckling av innovativa lösningar och, 2) etablera en plattform för aktörer där kunskap kan skapas och delas. Som en viktig del i detta ramverk både driver och finansierar Triple F projekt för vilka målet är att leverera bidrag till hur Sveriges godstransportsystem kan ställas om till fossilfrihet. Projektet E-DEL etablerar ett bra exempel på hur man genom ett projektbaserat samarbete som bygger på ett tvärorganisatoriskt och tvärfunktionellt systemperspektiv kan etablera ny kunskap rörande innovativa transportlösningar som bidrar till ökad hållbarhet och minskad miljöpåverkan.

Projektet E-DEL speglar målen för Triple F och undersöker utmaningarna avseende en omställning av godstransportsektorn med ett fokus på sistamilen leveranser inom dagligvaruhandeln. För att reducera mängden emissioner till 2030 och nå ett fossilfritt Sverige 2045 behövs nya transportlösningar och projektet har därför utvärderat lösningsansatser för eldriven e-handeldistribution av livsmedel i städer. För leverans av de temperaturkänsliga produkterna behövs en obruten kylkedja vilket bidrar till utmaningarna avseende energieffektiva lösningar för de el-baserade transportsystemen.

Även vad gäller ansats och utformning reflekterar projekt E-DEL Triple Fs grundläggande principer. Projektet applicerar ett systemperspektiv avseende transportlösningarna för sistamilen inom dagligvaruhandeln och har involverat aktörer vilka alla bidrar med delar av – eller möjliggörare för – de komplexa lösningar som studerats. Projektet har därigenom även gett möjlighet till kunskaps- och erfarenhetsutbyte mellan aktörer av vikt för ett transportsystem för sistamilen leveranser.

2.2 Bidrag till Triple F

För att adressera de klimatpolitiska målen, där en reduktion av transportsektorns emissioner har en central roll, har Triple F etablerat tre fokusområden: *Logistik, Teknik och Policy*. Baserat på denna indelning diskuterar vi nedan vidare om hur projektet E-DEL bidrar till Triple F och dess program mål.

2.2.1 Projektets bidrag i ett Logistikperspektiv

Projekt E-DEL har gett möjlighet till en djupstudie av utmaningar och potentialer inom transportsystem för sistamilen leveranser inom dagligvaruhandeln. För att möjliggöra effektiva och ekonomiskt hållbara leveranser av matvaror behöver design av logistiklösningar och transportsystem ta hänsyn till ett antal styrande parametrar.

Utöver de rent tekniska aspekterna (se nedan) behöver lösningarna anpassas efter varuägarnas interna logistiksystem och de speciella krav som hantering av livsmedel ställer. Vidare behöver lösningarnas utformning möta slutkundernas behov och krav, till exempel avseende tid och plats för leverans. För att öka den ekonomiska bärkraften i sistamilen leveranser behöver även frågor såsom effektiviteten i utnyttjandet av ingående resurser (till exempel fordon och omlastningscentraler), möjligheter till

samlastning och delning av resurser, roll- och ansvarsfördelning mellan berörda aktörer, och designen av relaterade affärsmodeller genomlysas.

Genom projekt E-DEL och dess studie av komplexa logistiksystem för sistamilen leveranser inom dagligvaruhandeln har ny och viktig kunskap tillkommit. Erfarenheterna från projektet kommer att underlätta och påskynda en utveckling och implementering av fossilfria transporter för sistamilen.

2.2.2 Projektets bidrag i ett Teknikperspektiv

I ett logistiksystem som det som studerats i projekt E-DEL spelar de tekniska lösningarna en viktig roll. För det första behöver fordonens design och konstruktion motsvara de krav som ställs av den fysiska utformningen av gods och lastbärare. Vidare behöver fordonen utformas för att möjliggöra effektiv och ergonomisk riktig på- och avlastning. Fordonens konstruktion måste samspela med eventuella lastkajer, men även stötta på- och avlastning i miljöer utan specifika stöd. Yttermera, precis som i andra sammanhang där elektrifierade fordon införs så blir frågor som rör framdrift och räckvidd – till exempel batterikapacitet, utformning av drivlinor och infrastruktur för laddning – mycket centrala frågor.

En sluten kylkedja behöver designas för att på bästa sätt för att säkerställa kvaliteten på leveranserna och tillmötesgå de hälsoaspekter som finns. Design och utformning av fordon har en avgörande roll med avseende på hur energin i batterierna nyttjas på bästa sätt. Vidare, så behöver fordonens kylutrymme konstrueras så att kylan kan behållas under hela leveranscykeln, även då utrymmet öppnats i samband med leverans till kunder. Utöver detta behöver omlastningscentralernas utförande säkerställa att avbrott av kylkedjan inte riskeras. En viktig del i logistikkedjor som dessa är även att säkerställa mätning och loggning av relevanta data såsom temperatur i fordonens kylutrymmen. I projekt E-DEL studerades bland annat skillnaden mellan olika elfordon med integrerat kylsystem som finns tillgängliga på marknaden. Även kylsystemets känslighet studerades och möjliga fryslösningar identifierades.

Sammantaget, bidrar projekt E-DEL med ny kunskap av stor vikt för fortsatt utveckling av både fordon, infrastruktur och omlastningscentraler.

2.2.3 Projektets bidrag i ett Policyperspektiv

Även om projektet inte inkluderat policyperspektivet i sitt primära fokus har resultat från studier och utvärderingar tydligt pekat på betydelsen av policybeslut, regleringar och engagemanget från offentliga aktörer för att möjliggöra en omställning till nya och elektrifierade transportsystem i urban miljö. Även om emissionsorienterade styrmedel har en viktig roll i form av att driva på utvecklingen av elektrifierade fordon är det ändå framför allt behovet av policy, stöd och stimulans avseende infrastrukturen som projekt E-DEL tydliggör.

Projektet understryker betydelsen av det tvärorganisatoriska samarbetet med avseende på de logistikkedjor som behöver implementeras för att lösa sistamilen leveranser nyttjande mindre el-drivna fordon. Eftersom räckvidden för fordonen är begränsad uppstår ett behov av omlastningscentraler. Eftersom många varor behöver en obruten kylkedja så behöver dessa omlastningscentraler tillhandahålla en temperaturkontrollerad miljö, något som i sin tur leder till ett behov av tillgång till elektricitet. Elektricitet är även en förutsättning för att kunna tillhandahålla laddning för fordonens batterier.

Projektet bidrar sålunda med ny och viktig kunskap rörande behovet av samhälleligt stöd för att möjliggöra placering av omlastningscentraler och laddningsinfrastruktur i stadens rum samt öppna upp för en diskussion kring policy som behöver anpassas.

3 Genomförande

I detta kapitel beskrivs de olika arbetspaket och metoder som används för att samla in och analysera data och som ligger till grund för att besvara syftet med projektet.

3.1 Arbetsprocess

Projektets upplägg är delat upp i sex arbetspaket (AP). De arbetspaketen är: (1) Omvärldsanalys, (2) Logistiksystem, (3) Infrastruktur, (4) Teknik, (5) Systemansats och (6) Projektledning.

Projektets upplägg har ändrats under tiden – från ansökan till genomförandet. Medan i projektansökan beskrevs en teoretisk projektidé av användandet av ett elfordon med aktiv kylning och samtidigt en teoretisk utvärdering genom litteraturstudie och intervjuer, blev det till projektstarten ett rejält fordon (prototyp) som kunde användas under testerna. Projektpartner och elfordontillverkare E-Tron AB tillverkade en prototyp av ett elfordon som köptes av projektpartner Gordon Delivery innan projektet E-DEL startades. Tillgängligheten av prototypen gav möjligheten att undersöka fordonet under fysiska tester under projekttiden, och förändrade projektets karaktär från en konceptuell studie till en genomförbarhetsstudie. Dessutom användades ett annat elfordon under en kortare testperiod för att jämföra E-Trons elfordon med detta och ta resultaten upp till en övergripande nivå. Projektet involverade också en mastersstudent från KTH som skrev sin mastersuppsats i projektet under 2021, och projektet stöttades av ett gemensamt utförd test med projektet HALLO där olika aspekter av livsmedelsleveranser i städer undersöktes genom att sätta upp och använda sig av en mikroterminal i sistamilen-distributionen.

Det första arbetspaketet (AP) hade syftet till att identifiera bakgrunden till användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer såsom att beskriva dessas utmaningar. Detta gjordes genom en litteraturstudie, internetsökningar (hemsidor, projektsidor, pressmeddelanden mm) samt intervjuer med projektpartners. Omvärldsanalysens syfte har varit att skapa förståelse för vilken kunskap som finns inom området och identifiera referenser av övergripande betydelse. Litteraturstudien inkluderade vetenskapliga publikationer och rapporter inom e-handel av livsmedel, logistik framför allt sista-milen distribution i städer, och elfordon och infrastrukturen för elfordon. Publikationer har hittats genom olika databaser. Dessutom användes rapporter som är publicerat på Triple Fs hemsidan, framför allt olika omvärldsanalyser.

AP2 syftade till att förstå hur logistiksystem kan utformas i svenska städer. Det gjordes genom att undersöka och analysera data från befintliga logistiksystem, simulationer och modelleringar såsom genom testning och utvärdering av leveranser med ett elfordon med aktiv kylning.

AP3 syftade till att identifiera möjliga kombinerade omlastnings- och landningsplatser som möjliggör användandet av elfordon för transporten till kunderna. Detta gjordes genom testning av olika infrastrukturupplägg, intervjuer med projektpartners och simulationer såväl modelleringar.

I AP4 studerades den befintliga teknisk lösningen, dvs elfordon med aktiv kylning, för att vid behov förbättra lösningen angående räckvidd och temperaturhållning.

AP5 syftade till att sammanställa resultat från AP2-AP4 genom att betrakta de byggstenarna logistiksystem, infrastruktur och teknik med en systemansats.

AP6 beskriver projektledningen och säkerställer koordination, kommunikation och resultatspridning.

3.2 Utvärderingar

För att utforska e-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon genomfördes ett antal olika utvärderingar och fysiska tester. Under testerna användes framför allt E-Trons elfordon, men under en kortare period användes också ett nytt utvecklat elfordon med aktiv kylning från Mercedes-Benz som är baserat på deras e-Sprinter serie. Genom att testa E-Trons elfordon under en längre period och samtidigt ha möjligheten att jämföra olika fordon med olika räckvidd och lastkapacitet kunde olika aspekter betraktas under testerna. I Tabell 1 listas alla tester som genomfördes och beskrivs i det här avsnittet.

Tabell 1. Översikt av alla utvärderingar

Nr.	Namn	Beskrivning	Datum
1	Datamodellering	Modellering av data för att samla in fordonets parametrar	nov 2020 – feb 2021
2	Test med E-Trons elfordon i Tumba	Studie av E-Trons elfordonet samt simulering	mars – maj 2021
3	Komparativ jämförelsestudie	Jämförelse av E-Trons elfordonet och Mercedes e-Sprinter	okt 2021
4	Användning av mikroterminal	Test att leverera livsmedel från en mikroterminal i Stockholm	dec 2021 – jan 2022
5	Kyl och frys: Identifiering av fryslösningar och test av läckage genom öppen dörrutvärdering	Identifiering av fryslösningar genom diskussion mellan parterna. Testet genomfördes med en stillastående bil utan matvaror	jan-aug 2021 Testet genomfördes 6e och 12e Aug 2021

3.2.1 Datamodellering

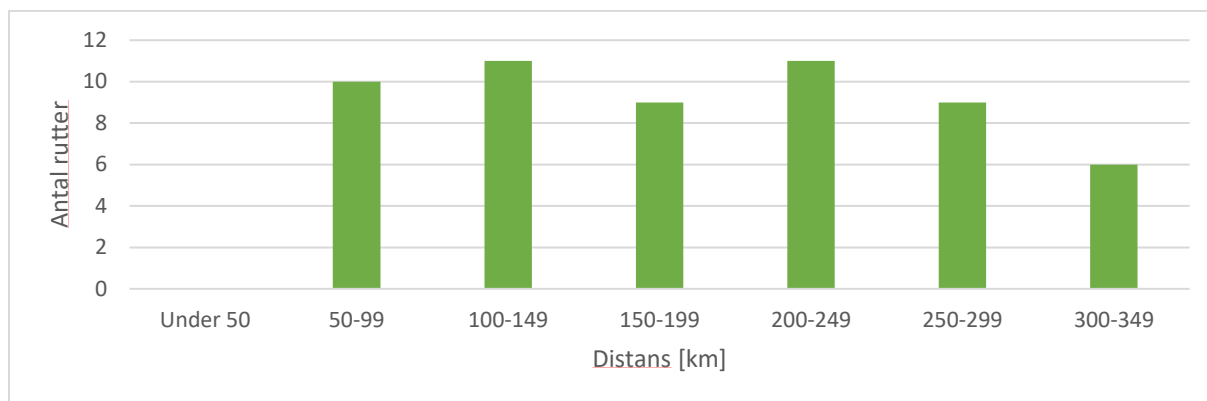
Innan de fysiska testerna kunde påbörja, bestämde projektgruppen sig för att modellera olika tester för att se om elfordonet kunde nå alla kunder på en rutt. E-Trons elfordon planerades att använda under hemleveranser utförd av Gordon Delivery för att ersätta ett vanligt leveransfordon som kör på fossila bränsle samt en leveransrutt framtagen för projektets syfte med utgångspunkt från en Coop-butik i Bromma. Eftersom elfordonet skulle användas för att leverera till rejäla kunder var det viktigt att säkerställa att det kunde också uppfylla kraven och inte att projektpartners skulle ha besvikna kunder efter testfasen. Därför modellerades leveransen för olika rutter för att se om elfordonets räckvidd och lastkapacitet skulle räcka.

Här är två olika scenarier som betraktades:

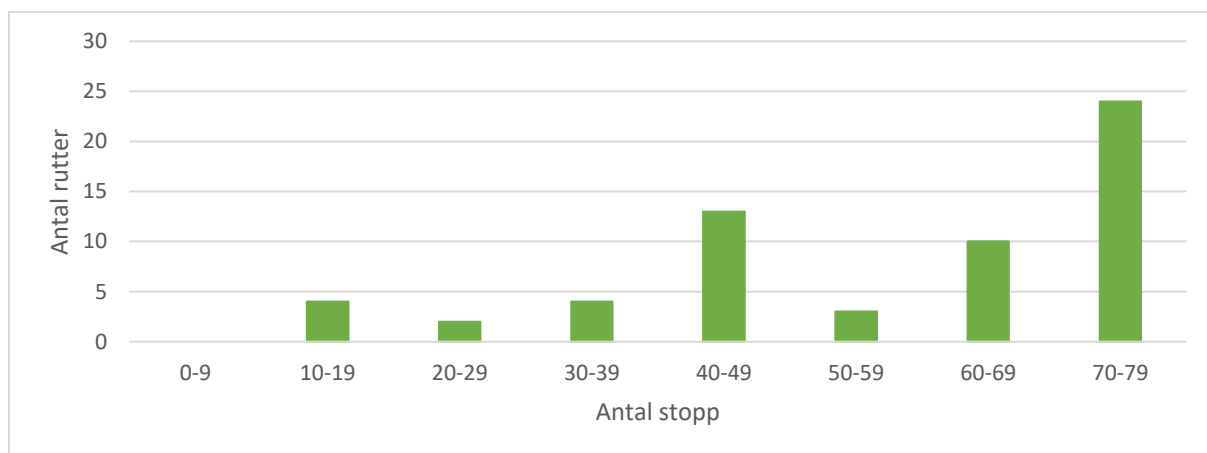
- 1) 60 rutter som började och slutade vid Gordon Deliverys terminal i Tumba (modellering av en möjlig ersättning av Gordon Deliverys fossila fordon)
- 2) Tre fiktiva rutter som började och slutade vid Coops butik i Bromma (modellering av en möjlig ersättning av Coops hemleverans)

För det första scenariot, valdes slumpmässigt data från två dagar i oktober 2020 från Gordon Deliverys IT-system för att utvärdera rutter angående distans och antal stopp och för att se om och hur många av leveranser med ett fordon med fossila bränsle kunde utföras av ett elfordon. Datan baseras av verkliga leveransrutter som kördes i Stockholm och område.

Figurerna nedan visar sammanställningar av datan.



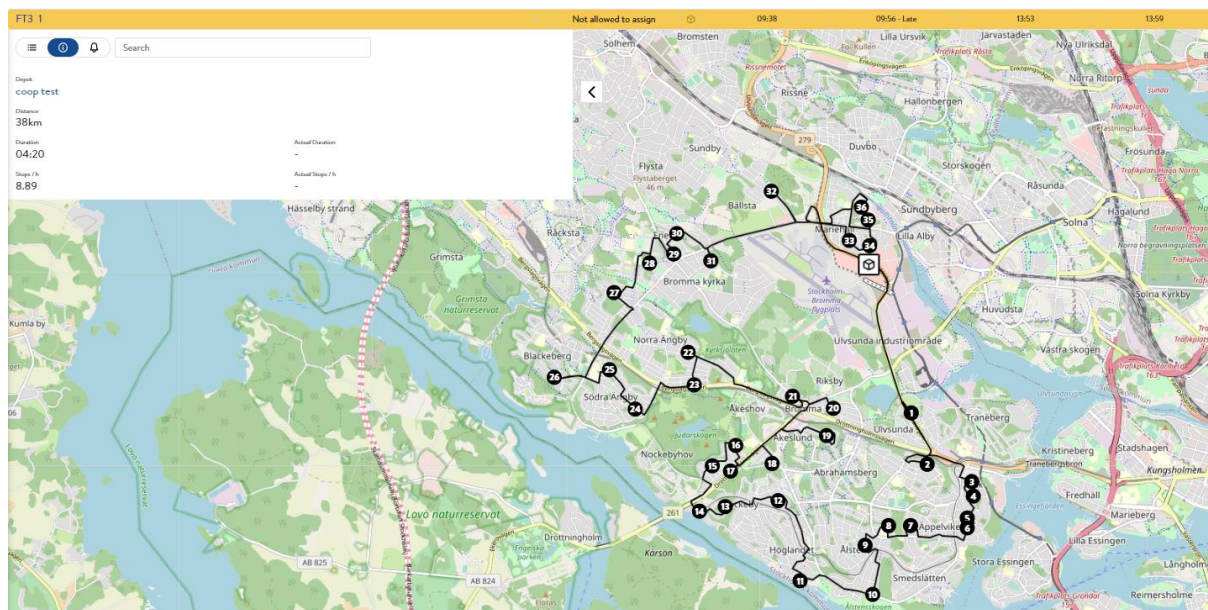
Figur 1: Rutt distans [km] av 56 rutter (det saknades data för fyra av 60 rutter)



Figur 2: Antal stopp

Totalt utvärderades 60 rutter som kördes under de två dagarna i oktober 2020 med ett fordon med fossilt bränsle. Längden av rutterna varierades där några kunde vara över 300 km långt, men en genomsnittlig längd av en rutt är 189,6 km. Dessutom varierade antal stopp per rutt, men genomsnitt låg vid 57.

För det andra scenariot, skapades fiktiva leveransrutter i Bromma med utgångspunkten från Coop-butiken Bromma (se Figur 3). Syftet med detta var att se om Coop kunde använda sig av elfordonet för att hemleverera sina livsmedel och för att modellera datan i ett mer stadsnära område och se hur mycket kilometer kunde sparas om terminalen ligger närmare till hushållen. Baserat på elfordons lastkapacitet plottades rutter med antingen 6, 9 eller 30 stopps baserat på använda lastbärare.



Figur 3. Exempel av en fiktiv rutt i Bromma

3.2.2 Test med E-Trons elfordon i Tumba

Testningen genomfördes genom att köra E-Trons elfordonet under Gordon Deliverys leveranser av deras förare. För en sammanställning av elfordonets specifikation se Figur 4. Data samlades in genom Gordon Deliverys IT-system där det sammanställas logistikdata på planerade och utförda leveranser, genom E-Trons IT-system (Loclog Pro) där datan relaterade till fordonskörningen och energiförbrukning samlats och genom observationer som gjorts under farten och antecknats i ett mätprotokoll (se Bilaga 1). Den största andelen av datan har erhållits elektroniskt genom projektpartnerernas IT-system, bara datan om servicetiden samt dörröppningstiden inte samlas in automatiskt och därför komplementerades datainsamling med observationer. Inte begränsat till det, personen som antecknade observationer har också observerat fordonets prestanda och gett feedback för framtida förbättringar av fordonet.



Name of the vehicle	: Pro Litium MAX
Manufacturer of the vehicle	: E-Tron AB
Year of make	: 2020
Curb weight of the vehicle	: 1340 kg
Maximum permissible load	: 1000 kg
Type of vehicle	: Electric powered and refrigerated (SWB)
Battery type	: LiFePO ₄
Capacity of the battery	: 20 kWh
Quick charging	: No
SOC and DOD level	: 98% / 20%
Nominal voltage	: 3.2 - 3.6 V
Maximum available current	: 385 - 400 Ah
Battery c rating	: 0.222
Average speed	: 25-30 km/h (from testing)
Maximum speed	: <35 km/h (from testing)

Figur 4. Översikt elfordon

Utgångspunkt för testkörningar låg vid Gordon Deliverys terminal i Tumba. Området dit fordonet kördes under testfasen var: Tumba, Rönninge, Södertälje, Uttran, Salem, Vretana, Vårsta, Bröangen.

För testet skapades kortare rutter med ett mindre antal kunder jämfört med leveransrutter av fossila fordon för det var viktigt att nå ut till alla kunder som låg på leveransrutten. Ruttplaneringen utförs av Gordon Deliverys operationsteam. Planeringen av elfordons leveransrutter är helt annorlunda från de konventionella fordonen på grund av specifikation av elfordonet. Några av faktorerna som behövdes ta i beaktande är längd av rutten, antal stopp, lastkapacitet, stopptäthet, terräng, hastighetsbegränsningar etc. I Tabell 2 presenteras en översikt av leveransrutter som utvärderades, samt en sammanställning av leveranseffektiviteten som beskriver antal stopp per timme. För den kvalitativa analysen av fordonets prestanda planerades testningen på olika väderförhållanden, från kalla till varmare dagar.

Tabell 2. Översikt av leveransrutter, test med E-Trons elfordon i Tumba

Testdatum	Distans rutt [km]	Antal stopp	Varaktighet [tim:min]	Leveranseffektivitet [stopp/tim]
16 mars 2021	64,8	20	05:00	4,0
17 mars 2021	50,3	21	04:00	5,3
23 mars 2021	59,2	26	05:32	4,7
24 mars 2021	62	33	04:49	6,9
31 mars 2021	61	24	04:20	5,5
20 april 2021	86	42	06:15	6,7
21 april 2021	49	36	05:10	7,0
11 maj 2021	68	34	04:40	7,3

Från den insamlade datan har mer än 20.000 tidsstämpeldata analyserats och tolkats. En stor del av data användes för en simulationsmodellering som utfördes i sammanhang med en masteruppsats (se Bilaga 3). För detta har datan rensats upp, och Excel samt power query-funktionen använts för att plocka upp nödvändiga data och ta ut de ogiltiga. Sedan visualiserades datan. Datavisualiseringen är tekniken för att hitta sambandet mellan olika parametrar som mäts i testningen. Datavisualisering ger en tydlig uppfattning om vad informationen betyder genom att ge en visuell kontext med kartor eller grafer som gör det lättare att identifiera trender, mönster och extremvärden inom stora datamängder. I uppsatsen har Power BI använts för att tolka sambandet mellan summan av körda distans, laddningstillstånd (SOC%) och genomsnittlig hastighet kontra energiförbrukning.

3.2.3 Komparativ jämförelsestudie

Vid majoriteten av testerna i projektet så användes E-Trons fordonet. En kortare period testades ett annat elfordon, en Mercedes-Benz eSprinter med kylfunktion. En jämförelse mellan dessa två fordon har gjorts för att undersöka och ge exempel på hur stor skillnad det kan vara mellan olika elfordon med kylfunktion som finns på marknaden. Dock kördes fordon på olika rutter och olika dagar. För en översikt av leveransrutter av Mercedes-Benz eSprinter, se Tabell 3. Detta elfordon har en längre räckvidd, och testades därför under leveranser i Stockholms innerstad, men med start och slut vid terminalen i Tumba.

Tabell 3. Översikt av leveransrutter, test med Mercedes-Benz eSprinter från terminal i Tumba

Testdatum	Distans rutt [km]	Antal stopp	Varaktighet [tim:min]	Leveranseffektivitet [stopp/tim]
24 oktober 2021	59,2	64	08:14	7,8
25 oktober 2021	57,6	41	07:13	5,7
26 oktober 2021	56,8	49	07:08	6,0

3.2.4 Användning av mikroterminal

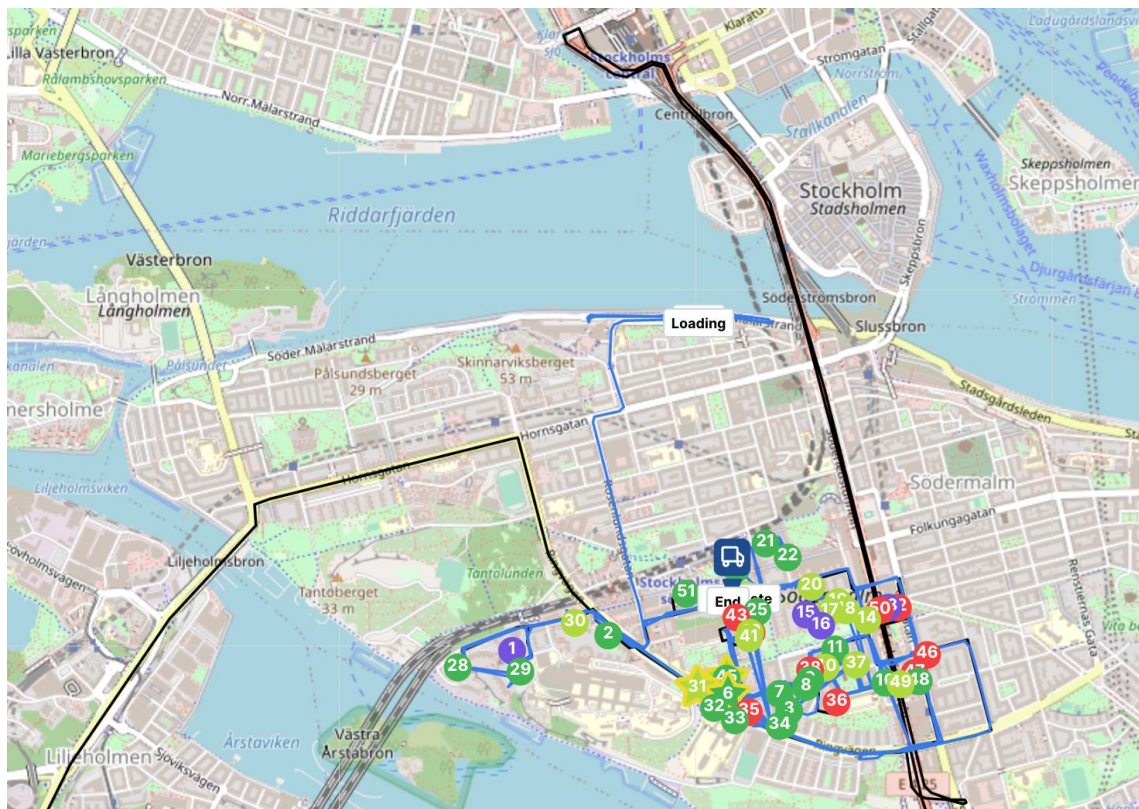
I samarbete med projektet HALLO sattes upp en mikroterminal närmare till innerstaden för att testa leveranslösningen med en central terminal och potentiellt kortare avstånd till en högre antal av kunder, dvs högre kundtätthet. Platsen för mikroterminalen valdes vid Söder Mälarstrand i Stockholm. Kraven för en mikroterminal inkluderade att hitta en tillräckligt stor plats för att parkera ett till två leveransfordon samt en kylcontainer, och möjligheten för en elanslutning för kylcontainern och elfordon. Ytterligare innebar det att kommunicera med Trafikkontoret och att få tillstånd från polisen. När tillståndet gavs, då krävdes att anlita en elektriker för att sätta eluttaget.

Att hitta rätt plats i Stockholm tog lång tid. Först togs ett försök att samordna flera restauranger, caféer och krogar i Gamla Stan där alla deras leveranser skulle samordnas i en mikroterminal och från där levererades till dem med elfordonet, men pga pandemin kunde inte en tillräcklig stor leveransvolym samlas. Det nästa försöket riktade sig mot privata hushåll som får leveranser från Gordon Delivery. Denna test kördes igång i december 2021. Data samlades in under tre dagar i januari 2022 (se Tabell 4).

Tabell 4. Översikt av leveransrutter, test med E-Trons elfordon från mikroterminalen

Testdatum	Distans rutt [km]	Antal stopp	Varaktighet [tim:min]	Leveranseffektivitet [stopp/tim]
03 januari 2022	63,8	50	08:03	6,2
04 januari 2022	72,1	50	06:46	7,4
12 januari 2022	65,4	47	04:53	9,6

En karta av leveransrutten från den 12 januari 2020 med mikroterminalen i Söder Mälarstrand i Stockholm visas nedan.



Figur 5. Exempel bild av leveransrutten från mikroterminalen i Stockholm

3.2.5 Kyl och frys: Identifiering av fryslösningar och test av läckage genom öppen dörr

I projektets elfordon finns i dagsläget endast kylmöjligheter och ingen lösning för att hålla varorna frysta. Ett första steg mot frysmöjligheter har genomförts genom diskussioner mellan parterna som resulterat i flera olika identifierade möjliga fryslösningar. Tester med frysta varor kunde inte genomföras under projektet eftersom inga kunder med frysvaror deltog.

Ett separat experiment genomfördes för att mäta energiåtgång när elfordonet står stilla med öppen dörr. Syftet med experimentet var att få mer information om hur mycket kyla som ”läcker ut” när dörren står öppen. Syftet med experimentet var att undersöka kylsystemets känslighet, och undersöka hur mycket temperaturen påverkas om dörren står öppen under en längre tid på en leveransrunda.

Experimentet genomfördes utan varor i fordonet och utan passiva fryslösningar, alltså utan kylklampor och liknande. Fordonet var inte vara ansluten till laddaren när experimentet genomförs. Energiåtgången för kyla går att mäta även när elfordonet står stilla.

Experimentet genomfördes enligt stegen i test-instruktionerna i Bilaga 2. Energiåtgången (batterinivå) och temperaturen inne i fordonet mättes under fyra olika deltester:

- Med stängd dörr, 10 minuter
- Med öppen dörr, 10 minuter
- Med stängd dörr, 1h
- Med öppen dörr, 1h

4 Resultat

I det här kapitel beskrivs resultat från testerna. I slutet av kapitalet presenteras slutsatser som genererats inom ramen för projektet E-DEL från de praktiska testerna.

4.1 Resultat av utvärdering

4.1.1 Datamodellering

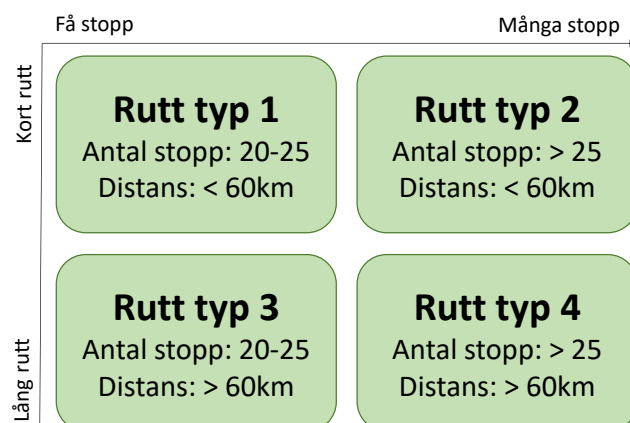
Utvärdering av det första scenariot visar att elfordonet, med en förväntad räckvidd av tillverkare av ca. 100 km kunde bara ta över 35% av de existerade leveransrutterna. Därför dras slutsatsen att det måste skapas kortare rutter för leveransen med elfordonet. Dessutom togs upp i projektgruppen att lastkapacitet av elfordonet är för lite för att täcka samma antal stopp och att också detta måste tas hänsyn till.

Genom att utvärdera den fiktiva datan i Bromma drogs slutsatsen att elfordonet kanske passade bättre till ett begränsat område som Bromma där kundfördelning är ganska högt. Här började idén att sätta upp en mikroterminal i innerstaden för att ha det närmare till kunderna.

4.1.2 Test med E-trons elfordon i Tumba

De åtta rutterna som kördes under testfasen i Tumba med elfordonet, kategoriserades (se Figur 6) och utvärderades.

Rutt typ 1 utfördes en gång, och var ingen kritisk rutt för det var varen långt eller hade många stopp. Rutt typ 2, kördes tre gånger under testfasen och här testades hur fordon förhåller sig vid en högre antal stopp och många dörröppningar. Dock visade testdata att det den kylan som släpps vid dörröppning är minimal och att andra aspekter, som en kulle på vägen vilken elfordonet måste köras upp, har betydligt större påverkan på batteriets energiåtgång. Rutt typ 3, utfördes en gång under testfasen för att se hur fordonet klarade av en längre sträcka. Rutt typ 4 kördes tre gånger under testfasen och var den mest kritiska rutt för här testades och utvärderades fordon på en lång distans och många stopp samtidigt. Tabell 2 ger en översikt över leveranseffektivitet vilken låg framför allt mellan 5 och 7 stopp per timme med ett lågt extremvärde, som låg bara vid 4 stopp per timme, som identifierade som Rutt typ 1.



Figur 6. Klassifikation av rutter

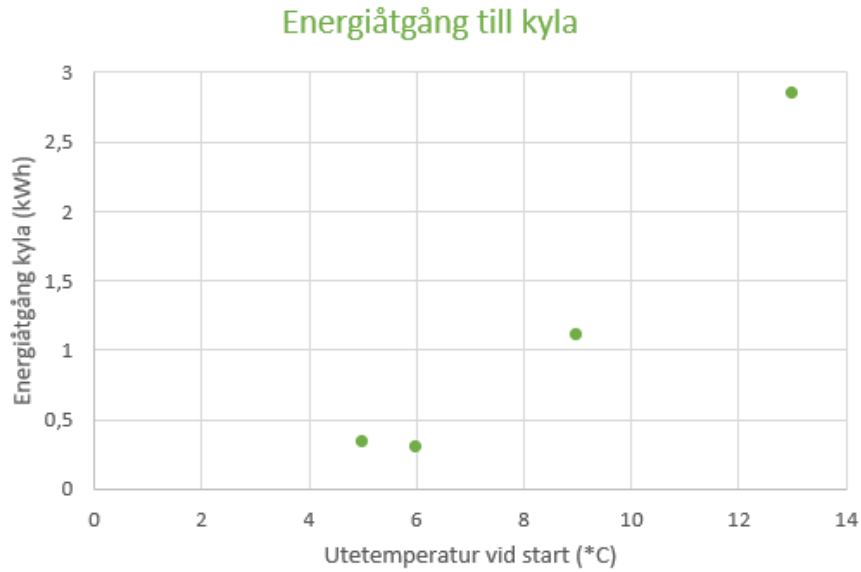
Tabell 5 ges en översikt av hur längre en dörr stått öppen och hur länge det tog att leverera varor till en kund (Service time). Mellan dörröppningstid och energiåtgång kunde inget sammanhang dras. Förklaringen är att det andra aspekter som tex. hastighet och terräng hade en betydlig högre påverkan på energiåtgång av elfordonet och att utetemperaturen var relativt låg under testfasen och därför var differensen mellan inne och utetemperatur inte särskilt högt. För att testa påverkan på energiåtgång i mer detalj, gjordes ett annat test där fokuset låg på dörröppningstid (se Avsnitt 3.3.5 och Avsnitt 4.1.5).

Tabell 5. Dörröppningstid och Service time

	Dörröppningstid (sekunder)	Service time (sekunder)
Mode	13	180
Mean value	23	160
Minimum time	6	60
Maximum time	103	360

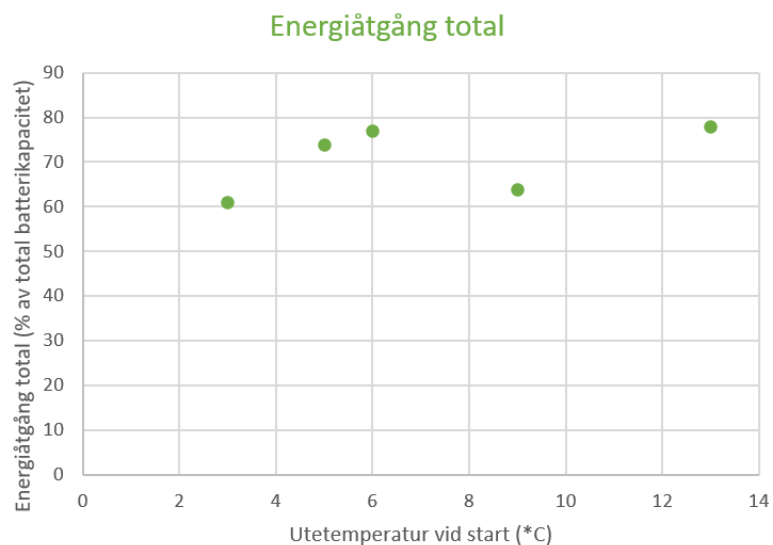
En utvärdering av fem av dem åtta tester visade följande resultat angående energiåtgång till kyla och den totala energiåtgången under rutten.

Grafen i Figur 7 visar energiåtgång till kyla under fyra tester i Tumba, plottade mot utomhustemperaturen. Vid det femte testet i Tumba så antecknades ingen utomhustemperatur. Som förväntat var energiåtgången till kyla större under de tester som genomfördes vid högre utomhustemperatur. Kylmaskinen kyler när det är varmt ute och värmer när det är väldigt kallt ute (så att livsmedel inte fryser i fallet det är under 0° C i utetemperaturen). Energiåtgången till kyla är därmed som lägst när utomhustemperaturen är ungefär samma som kylutrymmets temperatur.



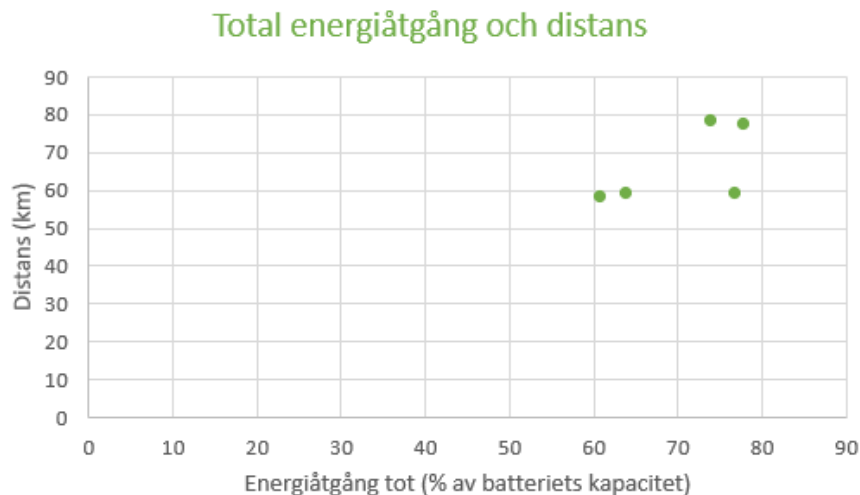
Figur 7. Energiåtgång till kyla

Dock visar den totala energiåtgång en mer jämt fördelning oberoende av utetemperatur (se Figur 8). För även det behövdes mindre energi på kallare dagar för att kyla ner kylskåpet med livsmedlen, då behövdes värme för förarkabinen som kräver mycket energi.



Figur 8. Total energiåtgång.

Den totala energiåtgången under ruten i Figur 9 blir större ju längre ruten är. För testerna i Tumba ser energiåtgång ut att öka proportionerligt mot distansen, trots en något avvikande datapunkt.



Figur 9. Total energiåtgång och distans

E-Trons elfordonet kunde köras med en maxhastighet av 35 km/h, detta betyder att inga motorvägar kunde köras och i flera fall ledde det till att köra omvägar. Från observationer antecknades också att en kall utetemperatur betydde att också kabinen för föraren var väldigt kall och det var inte möjligt att värma upp fordonet till en komfortabel temperatur för föraren och co-piloten.

I övrigt, verkade fordonet ha en bra storlek i förhållande till mängden leveranser. Föraren upplevde att lastning var likadant med skåp/lastbil, dvs kunde vara enklare. Föraren tyckte att ratten var lite speciellt samt broms och gas uppförsbacke. Fordonen har en bra bakkamera som ger en bra bild när föraren körs baklänges.

4.1.3 Komparativ jämförelsestudie

Kraven på kyllosning och räckvidd uppfylldes av både E-trons fordon och det andra fordonet som testades en kort period under projektet i oktober 2021, en Mercedes-Benz eSprinter med kylfunktion. Båda fordonen höll matvarorna kylda och klarade ruten.

Under tre dagar i oktober 2021 samlades data på Mercedes-Benz eSprintern. Under de dagarna kördes tre rutter med genomsnittlig 57,9 km och 51 stopp, och med en leveranseffektivitet av 6,5 stopp per timme. Under den tiden kunde data samlas samt att det gjordes observationer om hur fordonet upplevdes i stadsmiljön.

När elfordon diskuteras så får ofta batteristorleken stort utrymme i diskussionen. Under de förhållanden som varit i testerna så skulle ett enbart ett större batteri (och därmed ökad räckvidd) dock inte medföra några direkta skillnader i leveransmöjligheter. Under projektet observerades att det inte nödvändigtvis är räckvidden som begränsar antalet leveranser, utan att även lastutrymmet är en begränsande faktor. Batterikapaciteten var tillräcklig för att klara testernas leveranser. Det som begränsade antalet leveranser med E-trons fordon var alltså främst lastutrymmet.

I Tabell 6 presenteras en jämförelse mellan fordonen. Som tabellen visar kan det vara en stor skillnad mellan olika elfordon med kylfunktion som finns på marknaden. E-trons fordon är mindre och smidigare på mindre gator, medan Mercedes-Benz eSprintern är större och har plats för mer varor. Även maxhastigheten för fordonen antyder att E-trons fordon, med maxhastigheten 35 km/h, är tänkt att användas framför allt i stadsmiljöer medan eSprintern har en högre maxhastighet på 80 km/h.

Lastvolymen skiljer markant mellan fordonen, och är mer än dubbelt så stor för eSprintern som för E-trons fordon. Även räckvidd och batterikapacitet är större för eSprintern än för E-trons fordon och eSprintern är snabbblandningsbar och fullt på 30 minuter medan en timmes laddning ger 20% SOC hos E-Trons elfordon. Dock visade det sig att fordon laddades framför allt över nätterna och därför är det inte av stor betydelse hur länge de laddade.

Tabell 6. Jämförelse av elfordon

	E-trons fordon	Mercedes-Benz eSprinter
Räckvidd	Ca 100 km	Ca 150 km
En timmes laddning ger	+20% SOC	(Full snabbbladdning på 30 minuter)
Sidodörr för avlastning	Ja	Ja
Maxhastighet	35 km /h	80 km/h
Batterikapacitet	20 kWh	55 kWh (varav 47 kWh användbar effekt)
Lastvolym	5 m ³	11 m ³ (maxvikt 795 kg)

4.1.4 Användning av mikroterminal

Utvärdering av logistikdata som samlades in under testfasen med mikroterminalen visade att det tre rutter var i genomsnitt 67,1 km långa och hade bara 49 stopp. Leveranseffektiviteten låg i genomsnitt för alla dagar på 7,7 stopp per timme (för mer detaljer se Tabell 4). Det betyder att elfordonet kunde levererat till mer än två ytterligare kunder per timme jämfört med testet från terminalen i Tumba. Eftersom kundtätheten är högre i innerstaden än kundtätheten från testet i Tumba, distanserna mellan kunder mindre och en hastighet med 30km/h en lämplig hastighet i stadsmiljön, kan slutsatsen dras att elfordonet är mer lämpat för användandet i innerstaden.

Men också andra lärdomar kunde dras från testet med mikroterminalen. Planeringen av mikroterminalen och att få tillståndet var en lång process. Det finns ett problem med flernivåstyrning i städer eftersom för många aktörer behövs involvera. Det leder till att det tar väldigt mycket tid om den en eller andra aktör bearbetar frågeställning inte i god tid.

Utmaningarna i innerstaden var i övrigt att hitta lastplatser. Lastplatser är reserverad mellan kl. 7-19, men efter kl. 19 parkerar andra och då blir det ännu svårare att parkera bilen under leveransrutt. De andra utmaningarna är samma som de flesta sista-milen leveranser upplever, sådan som saknade portkod. Föraren nämnde att han vill helst inte leverera i Gamla stan för det är svårt att köra i stan pga alla oskyddade trafikanter och trafikslag, skyltning, felparkerade bilar osv, men höll med att fordonet skulle ha vissa fördelar i sådana miljöer för det är mindre än en vanlig lastbil.

4.1.5 Kyl och frys: Identifiering av fryslösningar och test av läckage genom öppen dörr

Kyllösningen och räckvidden fungerade väl under testerna. Batteristorleken var tillräcklig för att klara leveranserna, och det som begränsade antalet leveranser var snarare fordonets lastutrymme.

Testet av läckage av kyla genom öppen dörr visade tydligt att bilens kylsystem inte klarar att utan fördröjning kompensera för den kyla som förloras genom läckage (se Tabell 7). Vid mätningen med öppen dörr så hade temperaturen efter en timme nått samma temperatur som omgivningen (21 grader). Redan efter 10 minuter så hade temperaturen ökat med flera grader. Detta är viktig information eftersom matvaror riskerar att ta skada av en för hög temperatur. Bilförare bör alltså vara noga med att inte glömma dörren öppen under längre stunder. Det bör också påpekas att energiåtgången från batteriet var, som förväntat, betydligt högre när dörren lämnades öppen.

Tabell 7. Testresultat Testet av läckage av kyla

Test	Temperatur – start (2 mätställen)	Temperatur – slut (2 mätställen)	Temperaturskillnad (2 mätställen)	Batteriskillnad (Δ SOC)
1: 10 min med stängda dörrar	5 °C 3°C	5°C 5°C	0°C 2°C	1 %
2: 10 min med öppen bakdörr	5°C 5°C	7°C 11°C	2°C 6°C	5 %
3: 60 min med stängda dörrar	8°C 6°C	-	Ca 0°C	4 %
4: 60 min med öppen bakdörr	6°C 4°C	20°C 21°C	14°C 15°C	8 %

Ett första steg mot frysleveranser med elfordonet har genomförts genom diskussioner mellan parterna som resulterat i flera olika identifierade möjliga fryslösningar. Tyvärr deltog inga kunder med frysvaror i testet, och utvärdering av de identifierade lösningarna föreslås därmed genomföras efter avslutat projekt.

De matkassar som körts ut under testerna innehåller enbart kyld mat. För att även kunna leverera fryst mat så skulle en fryslösning behövas, vilket skulle minska det totala förvaringsutrymmet i fordonet. Det finns i nuläget inget separat frysutrymme i fordonet. Inom projektet har flera möjliga alternativ för framtida fryslösning identifierats och diskuterats:

- Frysvägg
 - Med passiv kyla
 - Med kylaggregat för frys
- Passiv frys i form av frysboxar
 - Torr-is
 - Kylklampar
- Frys-skåp på passagerarsidan

Passiv kyla bedöms vara otillräckligt på rutter med många stopp. En annan nackdel med passiv kyla är att dessa lösningar enbart kyler och att det inte finns möjlighet till uppvärmning vid låga utomhustemperaturer.

I det framtida arbetet föreslås att testa dessa lösningar och hur de påverkar energiåtgången. Exempel på frågeställningar är följande:

- Hur påverkas energiåtgången från batteriet av olika fryslösningar?
- Behövs högre batterikapacitet? Hur mycket?

Vad gäller energiåtgången så går den absoluta majoriteten av energi till framdrift av bilen i dagsläget. Batteriets kapacitet har varit tillräcklig för att klara leveranserna med marginal. De flesta av fryslösningarna som har identifierats i projektet bedöms sannolikt inte leda till en ökning i energiåtgång i den utsträckning att ett större batteri behövs.

4.2 Slutsatser

Från dem olika praktiska testerna och utvärderingar kan följande slutsatser dras angående användandet av ett elfordon.

E-Trons elfordon, som är mindre än en vanlig sistamilen leveransfordon, visar bra manövrerbarhet i trånga gator i stan och fordonets utmärkta tillgänglighet minskar servicetiden. Eftersom flera praktiska tester genomfördes när det var kallt ute, kan det konstateras att batteriets prestanda sjunker under kallare förhållanden (<0 °C) för det behövs under dessa förutsättningar extra energi för att värma upp förarkabinen.

Från datan observerades att laddningstillståndet (SOC %) sjunker proportionellt till den körda distansen (km) i högre medelhastighet. Den högre medelhastigheten beror på den normala terrängen (slätter/backar). Dessutom laddas kontinuerligt batteriet genom den regenerativa bromsningen i backarna.

Elfordonets medelhastighet med 25-30 km/h och högsta hastighet med 35 km/h begränsar fordonet till vägar med 30 km/h i hastighetsbegränsning. Eftersom elfordonet inte kan köras på motorvägar och andra vägar med lägsta hastighetsgräns vid 50 km/h blev några av vägarna från ruttplanering olämpliga. I dessa fall behövde elfordonet ta en alternativ lång väg för att uppfylla beställningen; ett flertal av omvägar behövdes köra under testfasen. Ruttplaneringen och de verkliga rutterna stämde därför i några fall inte överens. Att öka fordonshastigheten skulle förbättra flexibiliteten för ruttplaneringen. Ruttplaneringen skulle också kunna göras effektivare genom att inkludera nödvändiga parametrar inom sistamilen såsom hastighets limit på vägar.

Under svåra terrängförhållanden (uppför), observeras medelhastigheten vara lägre från data än den proportionella SOC-förbrukning. Här är förbrukningen mycket högre än den körda distansen.

Elfordonets kylsystem (Thermo King) slås på/av när temperaturen inuti behållaren är lägre än den inställda temperaturen. För att minska onödig energiförbrukning bör den inställda temperaturen inte vara lägre än 5-6°C när det är varmt ute.

Det kunde observeras från att förbrukningen i kylsystemet är nästan försumbar under de flesta testdagarna. Det beror på de kalla förhållanden som råder under testet. Dörröppningen hade också försumbar inverkan på sänkningen av temperaturen inuti behållaren för den öppnades bara korta ögonblick. Men under en varmare testdag i mars 2021 med ca. 10-15°C i utetemperaturen, var utnyttjandet av kylsystemet direkt högre (2,85 kWh). Dessutom visade testet som bara testade dörröppningens inverkan på kylsystemet med en varm utetemperatur att SOC kan minskas ganska mycket (i testet med 8% extra batteriåtgång (SOC) under 60 minuters öppning).

E-Trons elfordon har en batterikapacitet på 20 kWh. En ökning av batterikapaciteten till 28 kWh kunde öka räckvidden och möjliggöra leverans till flera stopp medan viktökningen av elfordonet är försumbar.

Dock visade sig det att det inte är räckvidden som är begränsande faktor. Genom den komparativa jämförelsestudie av E-Trons elfordonet och Mercedes-Benz eSprintern observerades att det inte nödvändigtvis är räckvidden som begränsar antalet leveranser, utan att även lastutrymmet är en begränsande faktor. E-trons elfordonet är betydligt mindre och det satt ofta begränsningen.

E-Trons elfordonet tar cirka 2 timmar för att ladda batteriet från 6 kWh till 15 kWh, medan Mercedes-Benz eSprinter är snabbaddningbar och laddas fullt i 30 minuter. Under testfasen laddades fordon framför allt bara under nätterna; laddningstid hade därför inte en stor betydelse. Dock behövs för båda både fordon en laddningsinfrastruktur och genom begränsade räckvidd är en hubb eller terminal i närheten till kunderna önskvärd, vilket också ökar leveranseffektiviteten. Men utvärdering av mikroterminalen har visat problematiken av flernivåstyrningen i städer och tog lång tid. Planeringen av sistamilen-distributionslösningar beror på ett flertal av aktörer som behöver involveras.

Från de utvärderingar som gjorts kunde det dras slutsatsen att implementeringen av elfordon i sistamilen-leverans är helt genomförbar. Men med mer forskning skulle en djupgående förståelse och kunskap hjälpa till med optimeringen för att utnyttja fordonet till sin fulla kapacitet.

5 Nyttiggörande och nästa steg

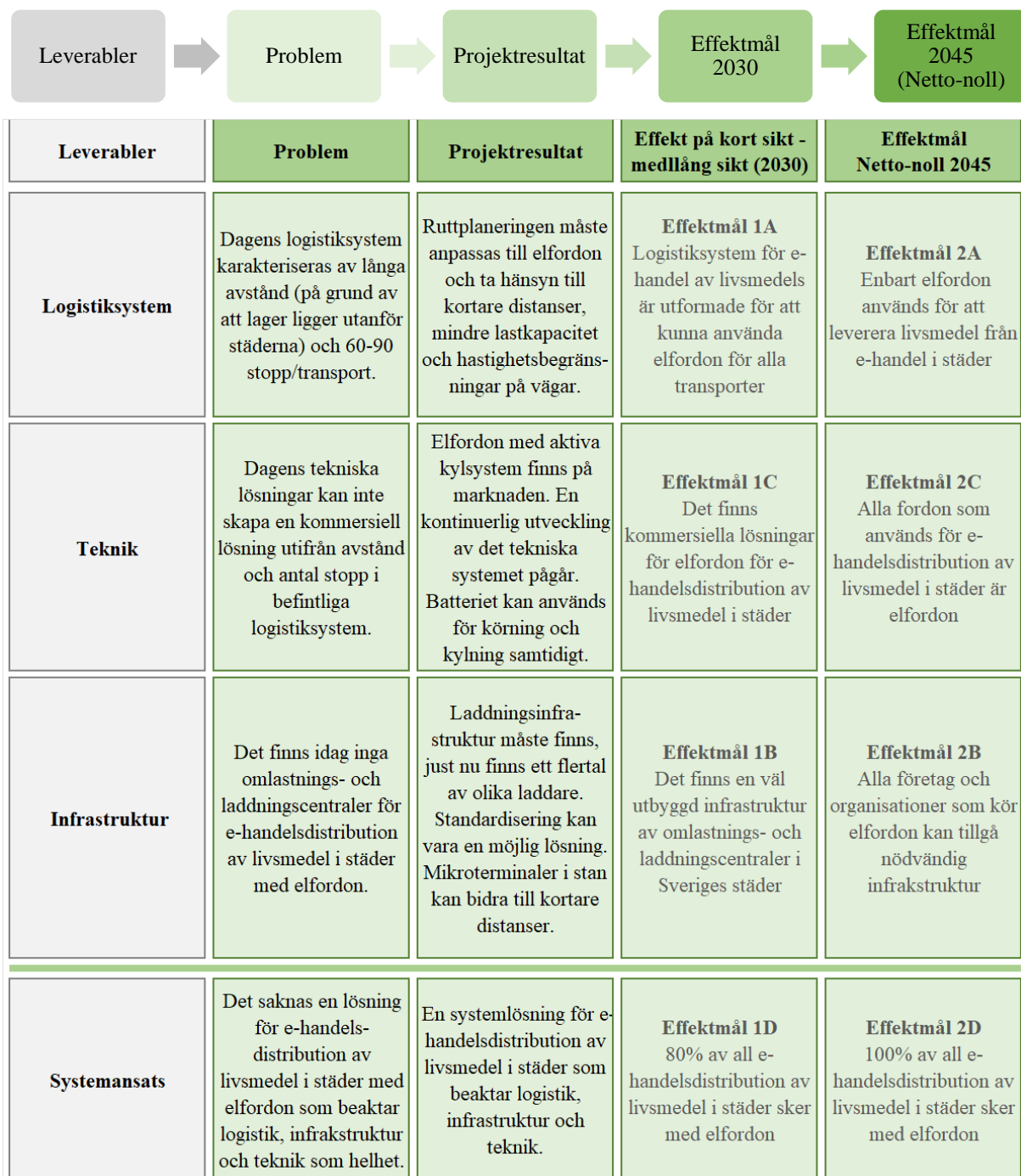
I det här kapitalet beskrivs nyttiggörande och projektets förhållande till långsiktiga mål samt ges förslag till nästa steg och beskriver hur resultaten spridas.

5.1 Nyttiggörande och effektlogik

Under pandemin har onlineförsäljning och sistamilen-distributionen av livsmedel ökat starkt och olika distributionslösningar har utvecklats. Men distributionen av livsmedel med elfordon är ändå väldigt begränsad i Sverige i dagsläget och det finns bara ett fåtal elfordon på marknaden, många utan aktiv kyllösning men med separat kylaggregat. Sistamilen-distributionen av livsmedel med ett elfordon har möjlighet att implementeras i många städer i Sverige. Då e-handeln fortfarande växer kraftigt, trots ett starkt tillväxt redan under de pandemiåren 2020-2021, och anses att fortsätta i detta håll, finns det alla möjligheter att med projektresultaten se till att distributionen blir fossilfri. Lärdomar från projektet E-DEL kan hjälpa andra organisationer att utveckla eller skaffa det rätta elfordonet till dem (se Figur 10).

Att utveckla en distributionslösning för sistamilenleverans av livsmedel med elfordon kräver samarbete mellan flera olika aktörer. Under projektiden samarbetades det även med ett annat projekt, HALLO, vilket sågs som väldigt värdefull. Systemansatsen stärktes genom det projektövergripande samarbetet.

Figuren nedan visar effektlogiken vilken utgår från projektets fyra leverabler: logistiksystem, teknik, infrastruktur, och systemansats. För varje leverabel definierades problem, presenteras kort projektresultat och sattes långsiktiga mål.



Figur 10. Effektlögi E-DEL

5.2 Nästa steg

Baserat på projektresultaten är ytterligare forskning och utveckling nödvändig för att förbättra användandet av elfordon med kylsystem för sistamilen leveranser i städer och att förstå hur det kan skals upp. Hittills finns det väldigt lite tidigare forskning om detta ämne, och den fokuserar i första hand bara på allmän tillämpning av elektromobilitet i sistamilen och alltså inte på distribution av livsmedel. Mer forskning bör därför inriktas på att förstå metoden för att förbättra och optimera den sista milen för storskalig tillämpning av elektromobilitet i fler sammanhang.

Frågorställningar som skulle kunna utredas vidare efter projektets avslut är exempelvis:

- Användandet av mikroterminaler har diskuterat i flera år, men de har inte blivit vanliga i dagens stadsmiljöer. Måste deras användande omvärderas i sammanhang med ökande elektromobilitet i städer? Hur kan mikroterminaler i städer användas på bästa och mest effektiva sätt? Varför har det hittills varit svårt att få lönsamhet i användandet av mikroterminaler?
- Utvärdering visade en ökande leveranseffektivitet från mikroterminalen. Detta öppnar upp för ytterligare frågor kring leveranseffektiviteten. Bidrar elektromobilitet till ökat leveranseffektivitet? Hur kan leveranseffektiviteten ökas i stadsmiljön? Kan leveranseffektivitet ökas om varor samlas?
- I projektet utvärderades två olika elfordon som båda visade sina för- och nackdelar. Vilken typ av elfordon är mest lämpliga för vilken typen av miljö och terräng? Till exempel kan det undersökas hur viktbegränsningen av fordon begränsar valet av fordon, hur lastutrymmet begränsar leveransen osv.
- I projektet visade det sig att många aktörer vill ha en del av den begränsade platsen i stadsmiljö för parkering av fordon, lastzoner, mikroterminaler, hubbar etc. Men det saknas data kring hur trafiken rör sig och vem som bör ha den platsen för att ge störst samhällsnytta. Hur ser sistamilen leveranserna och flöden ut i städer? När och var rör sig de flesta fordon?

Aktörer som bör involveras utanför projektgruppen i frågeställningar angående användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer i ett nästa steg är exempelvis:

- *Myndigheter* som bestämmer lastzoner, parkeringsplatser och platser för terminaler i städer. Idag finns många aktörer som vill använda den begränsade platsen i städer och det behövs utreda och kartlägga vad den platsen ska användas till.
- *Regeringen* som kan se över att införa ett undantag till att köra tyngre lastbilar som drivs av alternativa bränslen med totalvikt över 3,5 ton med B-körkort, för det skulle hjälpa att implementera elfordon särskilt sådana som även behöver batterikapacitet för att kyla livsmedel och som pga detta är tyngre och lider idag under chaufförbrist.
- *Standardiseringsorganisationer* som utreder vilken typ av laddning den här typen av elfordon ska ha och var uttaget ska sitta på fordon.
- *Flera fastighetsägare* för att etablera laddning i deras fastigheter så det blir lättare att ladda elfordon.
- *Elfordon- och batteritillverkare* för att driva utvecklingen av elfordon med kylning för matvaruleverans.
- *Batteritillverkare* för att se om och vilken andra livscykel batterierna kan ta.

5.3 Spridning

Projektet bidrog till kunskapsbyggande kring elektromobilitet i städer, med fokus på sistamilen leveranser av kyllda varor. Projektresultaten kommer att vara användbara för många företag, organisationer och kommuner i Sverige för att förstå utmaningar med sistamilen leveranser av livsmedel med elfordon, börja utveckla lösningar och bygga vidare på resultaten. För att resultaten är nåbar för andra aktörer, låg stort fokus på resultatspridning och extern kommunikation. Rapporten publiceras genom Triple F och delas genom projektpartners med deras nätverk, bestående av sista-milen-transportörer, fordonsutvecklare, livsmedelsföretag, fastighetsägare och kommuner.

För att säkerställa spridning av resultaten till intressenter har projektet diskuterats och presenterats i flera sammanhang. Nedan visas en översikt var arbetet i projektet har spridits. Även efter avslutning av projektet kommer resultaten spridas vidare, till exempel på Triple Fs projektkonferens.

Pressmeddelande vid avslutning av projektet

- ”Eldrivna livsmedeltransporter för ”sistamilen” leveranser”, 31 jan 2022, online: <https://www.mynewsdesk.com/se/chalmers-industrieteknik/pressreleases/eldrivna-livsmedeltransporter-foer-sistamilen-leveranser-3158060>

Projektets synlighet på hemsidor

- ”E-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon (E-DEL)”, online: <https://chalmersindustrieteknik.se/sv/projekt/e-handelsdistribution-av-livsmedel-i-stader-med-elfordon-e-del/>
- ”2020.3.2.6 E-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon”, online: <https://triplef.lindholmen.se/node/83954>

Deltagandet i paneldiskussion

- Deltagande i ”Samhällsbyggnadsdagarna 2020”, panel ”Hållbar infrastruktur för hållbar logistik”, 13 Oktober 2020, Stockholm
E-handel och hemleveranser har ökat lavinartat i takt med att vi rekommenderas att stanna hemma. Det ställer inte bara stora krav på leveransföretagen utan också på infrastrukturen och framkomligheten på gator och vägar.
På många platser i världen börjar yteffektiva, självkörande alternativ dyka upp – exempelvis små intelligenta transportrobotar som levererar varor direkt till dörren. I flera svenska städer finns det leveransföretag som väljer cykeln eller olika typer av elfordon för varutransporter. Men vilka tekniker blir framtidens lösningar?

Inlägg på sociala medier

- Under projekttiden gjordes flera inlägg på sociala medier (dvs. på LinkedIn).

Involvering av mastersstudent

- Tidigt i projektet involverades en mastersstudent från KTH som tog initiativet för att söka deltagandet i projektet. Hans bidrag och resultat till projekt är sammanställt i hans uppsats (se Bilaga 3).

Pressmeddelande framtagen av projektpartner E-Tron under projektiden

- ”Eldrivna kylfordon för fossilfria livsmedelsleveranser i stadsmiljö”, 7 jan 2021, online: <https://etron.se/eldrivna-kylfordon-for-fossilfria-livsmedelsleveranser-i-stadsmiljo/>
- Pressmeddelandet delades vidare över flera kanaler:

- ”Eldrivna kylfordon för livsmedelsleveranser i stadsmiljö”, online: <https://www.transportochlogistik.se/20200107/10273/eldrivna-kylfordon-livsmedelsleveranser-i-stadsmiljo>
- ”Eldrivna kylfordon för livsmedelsleveranser i stadsmiljö”, online: <https://www.livsmedelsnyheter.se/eldrivna-kylfordon-levererar-mat-fossilfritt-i-stadsmiljo/>,
- ”Eldrivna kylfordon för stadstransport av livsmedel”, online: https://www.frikopenskap.se/article/view/694168/eldrivna_kylfordon_for_stadstransport_av_livsmedel
- ”Eldrivna kylfordon för stadstransport av livsmedel”, online: https://www.foodnet.se/article/view/694169/eldrivna_kylfordon_for_urban_transport_av_livsmedel

Pressmeddelande vid uppstart av projektet

- ”Eldrivna hemleveranser av livsmedel”, 22 sept 2020, online: <https://www.mynewsdesk.com/se/chalmers-industrieteknik/pressreleases/eldrivna-hemleveranser-av-livsmedel-3036546>
- Pressmeddelandet delades vidare över flera kanaler:
 - ”Eldrivna hemleveranser av livsmedel”, online: <http://elbilsnytt.se/eldrivna-hemleveranser-av-livsmedel/>
 - ”De ska göra e-handel med livsmedel fossilfri”, online: <https://transportnytt.se/nyheter/de-ska-gora-e-handel-med-livsmedel-fossilfri>
 - ”Eldrivna hemleveranser av livsmedel”, online: <https://aktuellenenergi.se/eldrivna-hemleveranser-av-livsmedel/>
 - ”Skapar totallösning för fossilfri e-handelsdistribution”, online: <https://www.transportochlogistik.se/20200922/11266/skapar-totallosning-fossilfri-e-handelsdistribution>
 - ”Eldriven e-matsdistribution fokus i nytt project”, <https://dagenslogistik.se/eldriven-e-matsdistribution-fokus-i-nytt-projekt/>
 - ”Eldrivna hemleveranser av livsmedel”, online: <https://triplef.lindholmen.se/nyheter/eldrivna-hemleveranser-av-livsmedel>

Pressmeddelande framtagen av projektpartner E-Tron vid uppstart

- ”Omställning till eldrivna livsmedelstransporter i nytt stort samarbete”, 22 sept 2020, online: <https://etron.se/omstallning-till-eldrivna-livsmedelstransporter-i-nytt-stort-samarbete/>
- Pressmeddelandet delades vidare över flera kanaler:
 - ”Chalmers startar projekt för eldrivna matleveranser”, online: https://www.transportnet.se/article/view/740779/chalmers_startar_projekt_for_eldrivna_matleveranser

6 Diskussion

Projektet E-DEL, med ett fokus på sistamilen transporter av livsmedel genom användandet av elfordon, bidrar till Triple Fs målsättningen att stötta och facilitera omställningen till ett fossiloberoende godstransportsystem genom forskning och utveckling av innovativa lösningar. Projektet har dessutom, genom att samla ett flertal olika aktörer (sista-milen transportör, fordonsutvecklare, livsmedelsföretag, fastighetsägare, kommun, forskningsinstitut), genererat ny kunskap rörande innovativa sistamilen transportlösningar vilka bidrar till ökad hållbarhet och minskad miljöpåverkan.

För att reducera mängden emissioner till 2030 och nå ett fossilfritt Sverige till 2045 behövs nya transportlösningar. Sistamilen leveranser resulterar enbart i mindre andel av de transportrelaterade emissionerna men är en transportmode som förväntas växa starkt. Projektet E-DEL visar att det finns ett alternativ till fossilberoende fordon och demonstrerar att e-handelsdistribution av livsmedel i städer med elfordon är ett lämpligt alternativ.

Syftet med projektet har varit att utvärdera hur användandet av elfordon för e-handelsdistribution av livsmedel i städer kan möjliggöras. Projektet, som applicerar ett systemperspektiv på utmaningen, inleddes med en utvärdering av de tre centrala byggstenarna logistiksystem, teknik, och infrastruktur. De tre fokusområdena i projektet återspeglas i Triple Fs program mål i logistik-, teknik- och policyperspektiv.

För att möjliggöra en användning av elfordon behöver logistiksystemet anpassas. Räckvidden för elfordon är lägre än den för konventionella fordon och hänsyn till detta måste tas när ruttplaneringen tas fram. Projektet har visat att en räckvidd på 100 km räcker för att täcka minst en tredjedel av nuvarande leveransrutten i städer. Genom ytterligare anpassning av ruttplaneringen kan även flera rutten täckas med hjälp av elfordon. Dessutom kommer utvecklingen av elfordonen fortsätta och därmed förväntas räckvidden att öka ytterligare. Det betyder att även fler rutten snart kan täckas av elfordon. Snabbladdning kan lösa problem avseende den begränsade räckvidden, men tiden för att ladda fordonet vid en station måste också tas in när rutten planeras.

Sistamilen distributionen av livsmedel behöver anpassas till logistiksystemet i stort, men behöver även anpassas till varuägarnas interna logistiksystem och de speciella krav som hantering av livsmedel ställer. Bland annat behöver logistiklösningarna säkerställa en obruten kylkedjan för livsmedel. Det är därför viktigt att även det tekniska perspektivet analyseras när elfordonets användande undersöks. Projektet har studerat både batteriprestanda under olika förhållande samt temperatur i kylutrymme. Utvärderingarna visade att elfordon med ett aktiv kylsystem kan klara av sistamilen distributionen då batteriet var tillräckligt starkt för att både kyla lastutrymmet och förflytta fordonet. Tvärtemot vad projektgruppen förväntade sig är den totala batteriåtgången jämnt fördelad nästan oavsett utetemperatur; under kalla dagar behövs mindre energi för kylning av varor men mer för att värma upp förarkabinen och under varma dagar behövs mer energi för kylningen av kylskåpet och mindre för att värma upp förarkabinen. Man kan dock förvänta sig skillnader i energiåtgången under dagar med extrema utetemperaturer. Testerna visade att vid långa dörröppningar kan kylaggregatet inte hålla en konstant temperatur i kylskåpet, men under förhållande med korta dörröppningarna var kylförlusten försumbar. Dock visade det sig att terrängen har en större påverkan på batteriprestanda än förväntat. En förutsättning för testerna har varit att relevanta data mätts och loggats i de olika IT-systemen.

Vad gäller området infrastruktur har olika omlastnings- och laddningsstationer studerats. Vad gäller utvärdering relaterat till mikroterminalen i innerstaden behövde många aspekter tas i beaktandet. Elfondonet som användes har inte någon lyft. Om man inte kan hitta lösningar där lyftanordning inte behövs, behövs därför en lastkaj eller extern lyft. En mikroterminal behöver även tillgång till el vilket

ställer krav på placeringen. Testerna visar att mikroterminaler behövs i stadsmiljön för att lösa problem kopplade till det begränsade lastutrymmet i elfordonen och räckvidden. För att öka utnyttjandet av terminalerna, och få en bättre kostnadstäckning, bör terminalerna samnyttjas tillsammans med andra leverantörer, inklusive konkurrenter. Utöver mikroterminalerna behöver även ett nät av laddningsstationer etableras. Lämpligtvis samordnas utformning och utplacering av dessa laddningsstationer med de krav som ställs av logistiksystem för t.ex. kollektivtrafik och tyngre transportfordon.

Även om projektet belyst ett flertal centrala aspekter finns fortfarande ytterligare frågor som behöver studeras, särskilt då e-handelsdistribution av livsmedel växer och de tekniska förutsättningarna utvecklas snabbt. Projektet E-DEL har varit en av de första genomförbarhetsstudierna i Sverige som fokuserat på användandet av elfordon med aktiv kylning för e-handelsdistribution av livsmedel i städer. Genom projekt E-DEL och dess studie av komplexa logistiksystem för sistamilen leveranser inom dagligvaruhandeln har ny och viktig kunskap tillkommit. Erfarenheterna från projektet kommer att underlätta och påskynda en utveckling och implementering av fossilfria transporter för sistamilen

Referenslista

- Halldorsson, A. & Wehner, J. (2020), Last-mile logistics fulfilment: A framework for energy efficiency, *Research in Transportation Business & Management*. 37:1000481, <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100481>
- HUI (2021) Dagligvaruindex November 2021, <https://www.svenskdagligvaruhandel.se/wp-content/uploads/Dagligvaruindex-november-2021.pdf>
- Lindholm, M., & Behrends, S. (2012), "Challenges in urban freight transport planning—a review in the Baltic Sea Region", *Journal of Transport Geography*, Vol. 22, pp. 129-136.
- Postnord (2021a) E-commerce in Europe, <https://www.postnord.se/foretagslosningar/e-handel/e-handelsrapporter/e-handeln-i-europa>
- Postnord (2021b) E-barometern Q2 2021, <https://www.postnord.se/foretagslosningar/e-handel/e-handelsrapporter/e-barometern>
- Svensk Dagligvaruhandel (2021): Dagligvaruindex Juli 2021, online: <https://www.svenskdagligvaruhandel.se/wp-content/uploads/Dagligvaruindex-juli-2021.pdf>
- Svensk Handel (2021) Läget i handeln 2021, <https://www.svenskhandel.se/globalassets/dokument/aktuellt-och-opinion/rapporter-och-foldrar/laget-i-handeln/laget-i-handeln-2021.pdf>
- TDA (2019), Zero Emission Urban Freight, Transport Decarbonisation Alliance, online: <http://tda-mobility.org/wp-content/uploads/2019/05/TDA-Zero-Emission-Urban-Freight.pdf>
- Trafikanalys (2015), Dagligvaruhandelns distribution – en kartläggning, online: https://www.trafa.se/globalassets/pm/2011-2015/2015/pm-2015_17-dagligvaruhandelns-distribution---en-kartlaggning.pdf
- Trafikanalys (2016), Godstransporter i Sverige - En nulägesanalys 2016:7. Saxton, B. (ed.) Stockholm, Sweden, pp. 196.
- Trafikanalys (2020), Hur kan e-handelns transporter bli mer hållbara? Redovisning av ett regeringsuppdrag. Rapport 2020:2.
- Trafikverket (2020), Kunskapsunderlag om energieffektivisering och begränsad klimatpåverkan, Publikation 2020-06-01.

Bilaga 1: Mätprotokoll

Start och slut av rutt:		Datum:	
Chaufför:		Starttid:	
Nuvarande student:		Sluttid:	

Förklaring: Syftet med mätprotokoll är att följa upp testerna noggrant. Testen genomförs för att lära sig mer om elfordon som används för e-handelsdistribution av livsmedel i städer. En del av datan samlas in automatiskt i olika system, men några datapunkter måste samlas in manuellt. Efter avslutning av testen, skick mätprotokollet till Jessica Wehner (jessica.wehner@chalmersindustriteknik.se).

Temperatur i lastutrymmet

Vid start av rutt:		Vid slut av rutt:	
--------------------	--	-------------------	--

Temperatur i frysen (isolerad box)

Vid start av rutt:		Vid slut av rutt:	
--------------------	--	-------------------	--

Last i bilen

Antal kassar av kylvaror:	
Antal kassar av frysvaror:	

Följande data samlas in manuellt från master studenten.

Dörröppningar

No.	Tids- punkt	Dörr öppen (mm:ss)	Antal av kylkassar	Antal av fryskassar	No.	Tids- punkt	Dörr öppen (mm:ss)	Antal av kylkassar	Antal av fryskassar
1					26				
2					27				
3					28				
4					29				
5					30				
6					31				
7					32				
8					33				
9					34				
10					35				
11					36				
12					37				
13					38				
14					39				
15					40				
16					41				
17					42				
18					43				
19					44				
20					45				
21					46				
22					47				
23					48				
24					49				
25					50				

Följande data samlas in automatiskt i Gordons IT- system och ska bifogas till mätprotokollet.

Antal stopp (var, när och hur mycket tid de tar)

Total körsträcka

Total tid per runda

Följande data samlas in separat och fylls in efteråt av Chalmers Industriteknik.

Utetemperatur (se SMHI)

Förmiddag (8-11):		Lunch (11-13):		Eftermiddag (13-16):		Kväll (16-19):	
----------------------	--	-------------------	--	-------------------------	--	-------------------	--

Energiåtgång för kyla under körning (se separat datablad från E-Trons IT-system)

No.	Sensor	Aktiverad (hh:mm:ss)	Inaktiverad (hh:mm:ss)	Total tid (hh:mm:ss)	Energi- konsumtion (kWh)	Ø Fastighet (km/h)	

Bilaga 2: Instruktioner för genomförande av separat experiment "Läckage av kyla genom öppen dörr"

Utomhustemperaturen bör vara så hög som möjligt vid genomförandet, minst 15 grader!

Ett separat experiment genomförs för att mäta energiåtgång när bilen står stilla med öppen dörr. Syftet med experimentet är att få mer information om hur mycket kyla som "läcker ut" när dörren står öppen. Det kan visa hur känsligt systemet är (och eventuellt även hur mycket energi som går att spara genom att minska tiden som dörren står öppen under en leveransrunda).

Experimentet genomförs utan varor i bilen. Experimentet kan genomföras med eller utan frysvägg, men ska genomföras utan passiva fryslösningar (alltså utan kylklampor och liknande).

Bilen ska inte vara ansluten till laddaren när experimentet genomförs. Energiåtgången (SOC / batterinivå) och temperaturen inne i bilen ska mätas under experimentet.

Experimentet görs i följande steg:

1. Med stängd dörr (10 minuter).
 - a. Se till att bilen är helt nerkyld innan testet påbörjas.
 - b. Notera utomhustemperaturen.
 - c. Se till att dörrarna är stängda
 - d. Kontinuerlig mätning av batterinivå och temperatur inne i bilen under 10 minuter. (Anteckna start- och sluttid!)

2. Med öppen dörr (10 minuter).
 - a. Se till att bilen är helt nerkyld innan testet påbörjas.
 - b. Notera utomhustemperaturen.
 - c. Öppna den ena dörren helt. (Anteckna vilken av dörrarna som står öppen!)
 - d. Kontinuerlig mätning av batterinivå och temperatur inne i bilen under 10 minuter. (Anteckna start- och sluttid!)

3. Med stängd dörr (1h).
 - a. Se till att bilen är helt nerkyld innan testet påbörjas.
 - b. Notera utomhustemperaturen.
 - c. Se till att dörrarna är stängda
 - d. Kontinuerlig mätning av batterinivå och temperatur inne i bilen under en timme. (Anteckna start- och sluttid!)

4. Med öppen dörr (1h).
 - a. Se till att bilen är helt nerkyld innan testet påbörjas.
 - b. Notera utomhustemperaturen.
 - c. Öppna den ena dörren helt. (Välj samma dörr som i del 2!)
 - d. Kontinuerlig mätning av batterinivå och temperatur inne i bilen under en timme. (Anteckna start- och sluttid!)

5. Klart!

Bilaga 3: Masteruppsats

Harivignesh Narayanasamy (2021), “Analysis of single echelon logistics model for delivering temperature sensitive e-groceries in cities using electric vehicle”, Master’s thesis, KTH, Stockholm, Sweden.



DEGREE PROJECT IN MECHANICAL ENGINEERING,
SECOND CYCLE, 30 CREDITS
STOCKHOLM, SWEDEN 2021

Analysis of single echelon logistics model for delivering temperature sensitive e-groceries in cities using electric vehicle

HARIVIGNESH NARAYANASAMY

**KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SCHOOL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT**