

# Batterielektriska lastbilar i Malmö stad

## - En fallstudie inom citydistribution



---

**Freddy Larsson**

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation  
Faculty of Engineering, Lund University

## Förord

Jag skulle vilja rikta ett stort tack till alla er på Trivector Traffic AB för all det stöd och den hjälp jag fått av er i mitt dagliga arbete under detta examensarbete. Extra tack vill jag rikta till min företagshandledare Anna Clark för att du hållit mig på tårna och erbjudit väldigt värdefulla tips och diskussioner inom området elektrifiering av samhällets transporter.

Även ett stort tack till Almir Omerovic med kollegor på AJ Åkeri i Malmö och Malmö LBC som var väldigt tillmötesgående och behjälpliga vid insamlingen av data och inte minst genom att ha delat med sig av sin kunskap och sina erfarenheter kring åkeribranschen. Jag vill också rikta ett tack till Liane Ask på Sveriges Åkeriföretag Syd som möjliggjorde detta samarbete.

Jag är väldigt tacksam för det stöd jag fått av min handledare Olof Samuelsson, professor vid avdelningen för Industriell elektroteknik och automation i att hålla arbetet på en hög akademisk nivå och hjälpt mig att hålla rätt kurs. Men även tack till min biträdande handledare Lars Lindgren, forskare vid institutionen för att du bidragit med din djupa kunskap om elektriska fordon. Den modellering som genomfördes hade inte varit möjlig utan stöd från Philip Abrahamsson, projektassistent tack för din hjälp.

Detta arbete har ökat mina kunskaper inom lastbilsgods och förståelsen för de utmaningar sektorn står inför för att lyckas uppnå klimatmålen. Med vunna kunskaper är jag dock hoppfull inför att målen till stor del går att nå med dagens teknik och en stor beslutsamhet. Jag hoppas att detta arbete kan verka som en inspiration till åkerier och andra aktörer att ta steget och testa ny teknik.

Lund mars 2019

Freddy Larsson

## Abstract

The Swedish transport administration have announced that the emissions from the transport sector has increased by 0,5 % in 2018 compared to 2017, that is mainly due to an increase in truck traffic. At the same time, the national Swedish goals on climate dictates a decrease in emissions of 8 % each year, to amount to the goal of 70 % emission reductions for the transport sector until 2030 to reach the commitments set in the Paris Agreement.

Trucks driven without fossil fuels are crucial for reaching this target, but to only substitute the fossil diesel with biofuels will be problematic. Therefore the trade organisation for haulage contractor companies in Sweden, Sveriges Åkeriföretag has stated in their *Action plan for Fossil Free Competitiveness* that a wider variety of techniques is necessary to make the transition possible. One of these techniques is battery electric trucks, an area that is enjoying fast technological development. It is for that reason that this study has investigated if the technological development has lead to new opportunities to satisfy some the needs of the haulage contractors and allow for an introduction of the technique in certain areas.

To be able to answer this question, a case-study was conducted at a haulage contractor in the city of Malmö in southern Sweden to see if the routes that the their trucks were deployed on could be conducted with battery electric trucks already today. To give a better understanding of the area, an introduction of some of the available battery electric trucks on the market today is conducted. This is followed by the techniques available for charging and the levels of power supply they can accommodate but also an understanding of how the service life of the battery is affected by the user.

By data collection with GPS-units, three trucks from the haulage contractor in Malmö was studied for six days, one heavy duty and two light duty trucks. This resulted in high resolution data about GPS-coordinates and speed with a sampling frequency of one second. These data were used for calculating the energy consumption for a battery electric truck in the same conditions. The calculations were conducted with a model developed at the department of industrial engineering and automation at the faculty of engineering at Lund university. Before the calculations begun several data controls were conducted to ensure the data quality.

The results from these calculations showed that a big share of the truck traffic that was studied could be conducted with battery electric trucks without charging during the day. In the case of regional traffic the share of highway traffic increased and therefore also the energy consumption which made this traffic situation hard to electrify. The focus of the study was urban traffic and it shows that a heavy duty battery electric truck with a battery of 300 kWh can manage to complete a whole day with two shifts of urban traffic each including one local trip to nearby Lund without charging during the day. Without charging before the end of the two shifts the energy level of the battery became low but there was room to deploy depot charging during the day when the truck was already in depot which would keep the energy level at a higher state.

Regarding the light duty trucks the results show that the battery electric equivalents with a 76 kWh battery allows for an urban shift before lunch to be conducted, which is typical for a days work for the light duty trucks. Some days a part of the urban shift is switched for one or several local trips which increases the energy consumption. In this case charging has to take place out on the route. In one case a second shift was conducted in the afternoon with urban traffic. In this case depot charging could be deployed between the shift and in that way manage both shifts. To escape the question of charging during the day when investing in the first light-duty electric truck the routes of the light-duty trucks could be distributed in a way that the longest routes are located to one of the other trucks.

With the development that is occurring in the area of battery electric trucks the available technology in a near future can allow for more opportunities. A possible future deployment of an electric road could change the results drastically for the local and regional traffic with a big share of highway traffic, which is the one which is the most problematic for a battery electric truck to manage according to the study.

The conclusion is that there are good opportunities already today to implement the available technology on battery electric trucks to get emission free transportation with trucks mostly deployed for urban traffic but also contains some local trips. A deployment of battery electric trucks already today could allow for a head start and give time for acquiring knowledge and experience that might be competitive in the transformation to a fossil free transport sector.

## Sammanfattning

Trafikverket meddelar att utsläppen från transportsektorn ökade med 0,5 % under 2018 jämfört med 2017 vilket huvudsakligen förklaras av att lastbilstrafiken ökade. Samtidigt kräver Sveriges klimatmål en utsläppsminskning på 8 % årligen om transportsektorn ska nå målet om 70 % utsläppsminskning inom sektorn till 2030 vilket är en viktig del i våra antaganden inom Parisavtalet.

Att uppnå fossilfria lastbilstransporter krävs för att nå målet men att endast substituera all fossil diesel mot biodrivmedel är problematiskt. Därför lyfter *Färdplanen för Fossilfri Konkurrenskraft* från branschorganisationen Sveriges Åkeriföretag fram att fler tekniker behövs för att klara omställning. En av dessa är batterielektriska lastbilar och här sker en snabb teknisk utveckling. Därför har detta arbete undersökt om denna utveckling lett till att tekniken på området redan idag nått den nivå att det uppfyller vissa av de krav som åkerierna ställer på sina lastbilar och om det därmed skulle tillåta en introduktion inom vissa områden.

För att besvara detta har en fallstudie av ett åkeri i Malmö stad genomförts för att se om de ruttor som lastbilarna kör är möjliga att genomföra med batterielektriska lastbilar redan idag. För att skapa bättre förståelse på området presenteras först en genomgång av hur lastbilstekniken på marknaden gällande batterielektriska lastbilar ser ut för tillfället. Detta följs av vilka tekniker det finns för laddning och vilka nivåer av effektöverföring de tillåter men även förståelse för hur batterilivslängden påverkas av hur batteriet används.

Genom insamling med GPS-enheter har tre lastbilar från åkeriet i Malmö undersökts under 6 dagar, en tung lastbil och två lätta lastbilar. Detta gav högupplöst information gällande GPS-koordinater och hastigheter med en insamlingsfrekvens på en sekund. Dessa datapunkter låg sedan till grund för beräkning av energiförbrukningen för en batterielektrisk lastbil med samma förhållanden. Dessa beräkningar genomfördes med en modell framtagen vid avdelning för industriell elektroteknik och automation. Innan beräkningarna skedde flera datakontroller för att säkerställa datakvaliteten.

Resultatet från dessa beräkningar visade att en stor del av den lastbilstrafik som undersöktes var möjlig att genomföra med batterielektriska lastbilar utan laddning under dagen. När det gällde regional trafik ökade andelen motorvägstrafik och därmed energiförbrukningen vilket gjorde denna trafik svår att elektrifiera. Intresset för studien var urban trafik och när det gäller den tunga lastbilen visar resultaten att en batterielektrisk motsvarighet med ett 300 kWh stort batteri klarar av att genomföra en dag med två urbana skift som båda innehåller en lokal körning till närliggande Lund. Utan laddning under dagen blev batteriets energinivå låg men hade stor möjlighet att ökas genom depåladdning de tillfällen lastbilen redan befann sig vid depån.

Gällande de lätta lastbilarna så visar resultaten att den batterielektriska motsvarigheten med ett batteri på 76 kWh tillåter att ett urbant förmiddagspass genomförs utan laddning innan skiftets slut, vilket är en typisk dag för de lätta lastbilarna. Vissa dagar byts en del av den urbana körningen ut mot en eller flera lokal turer vilket därmed ökar energiförbrukningen. I detta fall krävs laddning ute under rutten. I ett fall genomfördes ett urbant eftermiddagspass utöver förmiddagspasset. Då krävdes laddning i depå för att dagen skulle kunna genomföras. För att slippa fundera över laddning under dagen vid införskaffandet av en första elektrisk lätt lastbil skulle rutterna kunna fördelas så att de längsta förläggs till en annan av lastbilarna.

Med den utveckling som sker på området kan lastbilstekniken inom en snar framtid ge större möjligheter. Även en eventuell framtida elvägssatsning skulle kunna ändra resultaten helt för lokala och regionala ruttor med stor andel motorvägskörning, den trafik som främst framstår som problematisk att genomföra med en batterielektrisk lastbil enligt studien.

Slutsatsen är att det finns goda möjligheter att redan idag använda den teknik som finns tillgänglig för att skapa emissionsfria transporter med batterielektriska lastbilar där den främsta körningen sker urbant men även innehåller lokala turer.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte . . . . .	2
1.2	Frågeställningar . . . . .	2
1.3	Metod . . . . .	2
1.4	Avgränsningar . . . . .	2
1.5	Rapportstruktur . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Nuläge och framtidsblick elektrifiering av lastbilar</b>	<b>4</b>
2.1	Elektriska lastbilars prestanda och utveckling . . . . .	4
2.2	Laddinfrastruktur och laddning . . . . .	7
2.3	Batterilivslängd och användningsrekommendationer . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Fallstudie och datainsamling</b>	<b>12</b>
3.1	Introduktion av fallstudie . . . . .	12
3.2	Intervjuer för bredare förståelse av lastbilarnas körmönster . . . . .	13
3.3	Kvantitativ datainsamling för detaljerad analys . . . . .	16
3.4	Kvalitetskontroll av insamlad data . . . . .	17
3.5	Analys av insamlad data . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Beräkning av energiförbrukning</b>	<b>28</b>
4.1	Beskrivning av modell . . . . .	28
4.2	Parametrar . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>32</b>
5.1	Energiförbrukning och laddningsexempel . . . . .	32
5.2	Känslighetsanalys . . . . .	39
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>Slutsatser och fortsatt forskning</b>	<b>44</b>
7.1	Slutsatser . . . . .	44
7.2	Fortsatt forskning . . . . .	45
	<b>Referenser</b>	<b>46</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>48</b>
A.1	Kartor . . . . .	48
A.2	Hastighetsprofiler . . . . .	53

# 1 Introduktion

Samhällets transporter och inte minst lastbilstransporterna är en förutsättning för att dagens samhälle ska fungera. Samtidigt leder dagens höga användning av fossila bränslen och de resulterande koldioxidutsläppen till att förutsättningarna för framtida generationer drastiskt försämras. Detta är ingen nyhet och redan 2012 antog regeringen målet om en fossiloberoende fordonsflotta till 2030 för att kunna nå visionen om nettonollutsläpp (Regeringskansliet, 2012). Vid FN:s klimattoppmötet i Paris 2015 enades världens länder om att hålla den globala temperaturökningen väl under 2 °C med sikte på 1,5 °C jämfört med förindustriell tid (FN, 2015). För att uppnå detta antog regeringen under 2017 ett klimatpolitiskt ramverk, och som en av tre delar började därmed klimatlagen att gälla för Sverige den 1 januari 2018. Denna tydliggör transportsektorns mål om en utsläppsminskning av växthusgaser med 70 % till 2030 jämfört med 2010 (Regeringskansliet, 2017). Samtidigt meddelar Trafikverket (2019) att enligt deras preliminära siffror har utsläppen från transportsektorn under 2018 ökat med 0,5 procent jämfört med 2017 och det förklaras huvudsakligen av att lastbilstrafiken ökade. För att nå målen behöver utsläppen istället minska med 8 % per år vilket enligt Trafikverket (2019) ”...är en minskningstakt som saknar historiskt motstycke.”

För att nå målet kräver Trafikverkets (2019) prognoserna en minskad energianvändning genom ett mer transporteffektivt samhälle. Men en annan viktig del är också minskad energianvändning genom energieffektiviseringar. För att nå minskade utsläpp har regeringen infört reduktionsplikt för att kontinuerligt öka inblandningen av biodrivmedel i bensin och diesel (Energimyndigheten, 2018) samtidigt som förbränningsmotorerna bli effektivare. Men detta räcker inte för att nå målen. Trafikverket (2019) lyfter att det kommer att krävas fler styrmedel för att få till den förändring som krävs inom dessa områden för att lyckas nå målen. Effektiviseringen innebär inte bara effektivare förbränningsmotorer utan även andra typer av emissionsfria drivlinor.

För att bidra till att målen nås har branschorganisationen Sveriges Åkeriföretag (2018) antagit *Färdplan för Fossilfri Konkurrenskraft* inom initiativet Fossilfritt Sverige. Tillsammans med 11 andra svenska branscher med stora växthusgasutsläpp har färdplaner antagits för att skapa ett fossilfritt och konkurrenskraftigt Sverige där klimatmålen nås (Sveriges Åkeriföretag, 2018). Färdplanen lyfter att biodrivmedel är en viktig del i att skapa fossilfria transporter. Men de ser samtidigt indikationer på att tillgången till biodrivmedel ej räcker för att fungera som den enda ersättaren till fossila drivmedel. Det krävs även andra typer av förnybara drivmedel och anger exemplen biogas, el från vätgas, el från batteri och elväg. I färdplanens trendspaning noterar de att utvecklingen av elektriska drivlinor utvecklas snabbt och ser det som klart att el kommer driva en betydligt större del av godstransporterna framöver. Sveriges Åkeriföretag (2018) ser att när det gäller batterielektriska lastbilar är kostnadseffektiviteten för närvarande lägre än för en diesellastbil vilket de menar beror på att batterivikten sänker den möjliga lastvikten samt att det krävs mer stillastående tid för laddning för att lastbilarna ska klara av sina rutter.

Med den snabba utveckling som sker för batterielektriska lastbilar har denna emissionsfria teknik fått ett ökat intresse på senaste tiden. Det är därför osäkert hur länge denna slutsats om batterielektriska lastbilars prestanda fortfarande är giltig. Därför vill denna studie undersöka vad dagens teknik inom batterielektriska lastbilar tillåter och om de redan idag kan leva upp till en del av de krav som åkerierna ställer.

Att introducera och lära sig använda en ny teknik och att förändra en fordonsflotta tar tid och måste därför påbörjas i tid. Även om batterielektriska lastbilar inte lever upp till alla de krav som åkerierna ställer på sin lastbilsflotta, kan en bättre förståelse för nuläget tydliggöra om det finns några situationer där tekniken skulle vara gångbar och de första testerna med tekniken skulle kunna ske. Med färdplanerna inom samarbetet Fossilfritt Sverige är målet att Sverige ska bli världens första fossilfria välfärdsnation (Sveriges Åkeriföretag, 2018). Genom att bli en permanent världsutställning för det moderna fossilfria samhället ser de konkurrensfördelar, men då gäller det att vara med och driva utvecklingen och inte halka efter. Förhoppningen är därför att denna studie ska ge en större förståelse för om batterielektriska lastbilar redan idag kan spela en roll i åkerinäringens väg mot fossilfrihet.

## 1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att studera den tekniska potentialen för en elektrifiering av lastbilar för distributionstrafik i staden med batterielektriska lastbilar. Aspekter som kommer beröras är dagens fordon, körsträckor, batterier och laddning men även hur dessa aspekter kan komma att se ut inom en snar framtid.

Målet med examensarbetet är att det ska kunna vara ett kunskapsunderlag till olika aktörer som arbetar med citydistribution med fokus på åkeriföretag, speditjonsföretag, kommuner och regioner för att öka kunskapen på området och ge dem stöd i omställningen mot en fossilfri fordonsflotta.

## 1.2 Frågeställningar

Den övergripande frågeställningen för detta examensarbete är:

- **Går det att med dagens teknik batterielektrifiera Malmös lastbilar inom citydistribution med bibehållna körscheman?**

För att besvara detta krävs kunskap kring hur dagens och morgondagens teknik ser ut med fokus på tre olika områden. Prestanda för batterielektriska lastbilar på marknaden, laddtekniker för laddning av lastbilar samt batterislitage och användning.

För att bygga på denna kunskap och besvara huvudfrågeställningen är det viktigt att besvara frågorna:

- Hur ser lastbilarnas körmonster ut i Malmö idag?
- Medger den tillgängliga tekniken den energiförbrukning som lastbilarna kräver för att kunna genomföra sina körscheman?
- Hur väl går det att samordna laddning med dessa körmonster?

## 1.3 Metod

Detta arbete består av två delar: en litteraturstudie och en fallstudie. Litteraturstudien genomfördes för att besvara de tre frågeställningarna gällande dagens och morgondagens teknik för batterielektriska lastbilar, laddning och batterier.

För att kunna besvara frågeställningen kring möjlighet till introduktion av batterielektriska lastbilar för distributionstrafik i Malmö genomfördes en fallstudie. Denna bestod av en kvantitativ del vilket innebar datainsamling med GPS-enheter för att studera körscheman för några valda lastbilar i Malmö stad.

Utifrån den insamlade datan genomfördes energiförbrukningsberäkningar med hjälp av ett simuleringsprogram.

Utöver datainsamling genomfördes även en kvalitativ del inom fallstudien. Denna bestod av en semi-strukturerad intervjustudie med det undersökta åkeriet och en observationsstudie genom informell datainsamling under färd med en av åkeriets chaufförer.

## 1.4 Avgränsningar

Arbetet kommer endast att utreda den tekniska potentialen till att introducera batterielektriska lastbilar och kommer inte ta hänsyn till ekonomisk genomförbarhet, nätets kapacitet samt resurs- och miljöproblematik kopplat till en introduktion av batterielektriska lastbilar.

Arbetet har till huvuddel utgått ifrån en fallstudie som endast fokuserar på ett specifikt åkeri lokaliserat i Malmö och deras rutter. Resultaten presenteras dock på ett sätt så att applicering på liknande fall ska vara möjlig. Geografiskt inkluderar studien endast Skåne med fokus på Malmö stad. Endast lätta lastbilar med en maxvikt på 3,5 ton och tunga lastbilar med en maxvikt på 18-ton kommer att studeras i fallstudien med fokus på den urbana och lokala trafiken. Detta exkluderar tyngre lastbilar och lastbilar som kör fjärrtrafik, nationellt och internationellt. Den kvalitativa delen av fallstudien har haft som syfte att sätta den kvantitativa datan i en kontext för det valda åkeriet och ge större förståelse för hur arbete fungerar i praktiken.

När det gäller den använda modellen tas ej hänsyn till skillnad i altitudskillnader. Inte heller vindens riktning och styrka beaktas.

## 1.5 Rapportstruktur

Efter introduktionen i kapitel 1 följer arbetets tre huvuddelar. Den första innefattar litteraturstudien vilken är beskriven i kapitel 2 där en kunskapgrund läggs gällande modeller av batterielektriska lastbilar, tillgängliga laddtekniker och dess effektnivåer samt rekommendationer gällande batterianvändning.

Efter detta avsnitt följer kapitel 3 som börjar med en beskrivning av fallstudien och sedan följs av en visualisering av den insamlade datamängden. I kapitlets senare del genomförs flera olika kontroller för att avgöra datamängdens kvalitet.

I kapitel 4 presenteras modellen som beskriver energiförbrukningen för de två typerna av elektriska lastbilar som studerats.

Avslutningsvis följer resultat, diskussion och slutsatser.



## 2 Nuläge och framtidsblick elektrifiering av lastbilar

För att skapa förståelse för vilka möjligheter som dagens teknik erbjuder när det kommer till elektrifiering av lastbilar genom batteriteknik kommer de tre avsnitten i detta kapitel att behandla:

- i avsnitt 2.1 elektriska lastbilars prestanda och utveckling
- i avsnitt 2.2 laddinfrastruktur och laddning
- i avsnitt 2.3 batterlivslängd och användningsrekommendationer

### 2.1 Elektriska lastbilars prestanda och utveckling

I detta avsnitt ges först en beskrivning av olika lastbilstyper fördelat på totalvikt. Efter detta följer en presentation av batterielektriska lastbilar på marknaden.

#### 2.1.1 Lastbilstyper per totalvikt

Inom citydistributionen finns det idag tre typer av lastbilskategorier som nyttjas uppdelade på den maximala tillåtna bruttovikten. Bruttovikten är den statiska sammanlagda vikt som lastbilen vid ett visst tillfälle framför över vägbanan. Den lättaste kategorin är lätta lastbilar som får ha en maximal bruttovikt på 3,5 ton. Nästa viktkategori är tunga lastbilar med två axlar som får ha en maximal bruttovikt på 18 ton. Den tredje viktkategorin är tunga lastbilar med 3 axlar där den maximala bruttovikten begränsas till 25 ton, om vissa kriterier är uppfyllda kan denna höjas till 28 ton (Transportstyrelsen, 2018). Lastbilar med 4 axlar och även med tillhörande släp kan framföras med ännu högre bruttovikt men dessa kommer inte behandlas i detta arbete då de främst används på längre distanser. Den lätta lastbilen och den 18 ton tunga lastbilen kommer att studeras i fallstudien för detta arbete vilket presenteras i kapitel 3.

**Tabell 2.1:** Visar de tre typerna av lastbilskategorier fördelat på maximal bruttovikt. De två första typerna kommer att studeras i fallstudien

	Lastbilskategorier		
Typ	Lätt lastbil	Tung lastbil	Tung lastbil
Max bruttovikt	3,5 ton	18 ton	25(+) ton
I fallstudien:	studerad	studerad	ej studerad

#### 2.1.2 Batterielektriska lastbilar på marknaden

En undersökning av olika batterielektriska lastbilsmodeller som finns på marknaden eller snart blir tillgängliga presenteras nedan. Denna genomgång har som mål att ge en bild av hur prestandan på några modeller som finns på marknaden, eller som planeras komma i produktion, ser ut.

Det har fram tills nyligen funnits väldigt få serieproducerade elektriska lastbilar på marknaden och de har oftast haft ett högt inköpspris. För de som velat köra en elektrisk lastbil har en annan lösning varit att byta ut motorn på en konventionell dieseldriven lastbil till en elektrisk motor, så kallad retrofit. Informationen om specialombyggda lastbilar har tyvärr varit knapphändig och kommer inte studeras närmare i arbetet.

Marknaden för serieproducerade batterielektriska lastbilar är i förändring då batteritekniken utvecklas vilket ger bättre och billigare lastbilar samtidigt som utsläppskraven från samhället ökar (EU-kommissionen, 2019). Därför kommer några serieproducerade modeller att presenteras nedan både för lätta lastbilar, 18 ton tunga lastbilar och 25(+) ton tunga lastbilar.

### Serieproducerade lätta lastbilar

I ett samarbete mellan Ford Motor Company och Deutsche Post DHL Group hade de tagit fram en serie elektriska fordon där StreetScooter WORK XL var den största modellen (StreetScooter, 2018). Med det stora skåpet lever modellen WORK XL upp till de volymkrav som den lätta lastbilsmodellen i fallstudien ställde. Denna modell var inte tillgänglig på den öppna marknaden utan endast inom samarbetet. Men med tanke på att tekniken finns utvecklad och de krav som kunderna har kommer det troligtvis produceras lastbilar från fler producenter som uppfyller dessa krav.

Mercedes-Benz annonserade att de planerade att släppa en elektrisk variant av sin Sprinter under 2019 under namnet eSprinter (Daimler, 2018a).

**Tabell 2.2:** Prestanda för två lätta batterielektriska lastbilar som redan nu eller inom en snar framtid kommer finnas på marknaden

Serieproducerade lätta batterielektriska lastbilar					
Märke & modell	Batteristorlek	Räckvidd	Lastvolym	Max totalvikt	Max lastvikt
StreetScooter WORK XL	76 kWh	200 km	8 pallplatser, 20 m <sup>3</sup>	4 050 kg	1 150 kg
Mercedes-Benz eSprinter	55 kWh	150 km	-	3 500 ton	900 kg

### Serieproducerade tunga lastbilar max 18 ton

Mitsubishi har under märket FUSO serieproducerad tung lastbil med namnet eCanter som började levereras till kunder redan i oktober 2017 (Daimler, 2018b).

Volkswagen berättar att de vid slutet av 2018 kommer leverera de första VW e-Delivery lastbilarna till ett pilotprojekt och att de planerar att sätta lastbilen i serieproduktion till 2020, informationen är begränsad (Volkswagen, 2018).

MAN har en lastbil på konceptnivå med en vikt på 15-ton men tyvärr kunde ingen information om datum för serieproduktion hittas (MAN, 2018).

Volvo planerar att påbörja serieproduktion av sin tunga lastbil FL Electric under 2019. Batterikapaciteten kan varieras mellan 100 och 300 kWh (2-6 batteripaket á 50 kWh) (Volvo trucks, 2018).

**Tabell 2.3:** Prestanda för fyra tunga batterielektriska lastbilar med en maximal bruttovikt på 18 ton som redan nu eller inom en snar framtid kommer finnas på marknaden

Serieproducerade max 18 ton tunga batterielektriska lastbilar					
Märke & modell	Batteristorlek	Räckvidd	Lastvolym	Bruttovikt	Max lastvikt
Mitsubishi FUSO eCanter	82,8 kWh	100 km	-	-	2-3 ton
Volkswagen e-delviery	170 kWh	200 km	-	-	-
MAN CitE - koncept	-	-	-	-	15 ton
Volvo lastvagnar FL Electric	100-300 kWh	-	-	16 ton	-

### Serieproducerade tunga lastbilar max 25(+) ton

Utöver den tidigare nämnda CitE har MAN även en 26 ton tung lastbil på koncept nivå vid namn eTGM. Likt den förra hittades inget datum om specifikationer eller när den finns tillgänglig på marknaden (MAN, 2018).

Även Mercedes-Benz har presenterat en konceptlastbil (Lambert, 2016)

Volvo lastvagnar har även en tung batterielektrisk lastbil på gång med en totalvikt på 27 ton som heter VOLVO FE Electric (Volvo trucks, 2018).

En lastbil som skapat stor uppmärksamhet är Teslas tunga lastbil för fjärrtrafik vid namn Semi. Tester genomförs med fordonet på de amerikanska vägarna. Samtidigt har den fått utstå mycket kritik från andra lastbilstillverkare och enligt dem borde batteriets storlek och tyngd medge en väldigt låg lastvikt (Lambert, 2018a). Uppgifterna kring prestanda för denna lastbil är svåra att verifiera.

**Tabell 2.4:** Prestanda för två tunga batterielektriska lastbilar med en maximal bruttovikt på 25(+) ton som redan nu eller inom en snar framtid kommer finnas på marknaden

Serieproducerade max 25(+) ton tunga batterielektriska lastbilar					
Märke & modell	Batteristorlek	Räckvidd	Lastvolym	Bruttovikt	Max lastvikt
MAN eTGM - koncept	-	-	-	26 ton	-
Mercedes-Benz eTruck - koncept	212 kWh	200 km	-	26 ton	-
Volvo lastvagnar FE Electric	300 kWh	-	-	27 ton	-
Tesla Semi	1000 kWh	500-800 km	-	36 ton	-

## 2.2 Laddinfrastruktur och laddning

I detta avsnitt kommer olika tekniker för energiöverföring till det elektriska fordonets batteri att presenteras vilka har olika fysisk utformning men även tillåter överföring vid olika effektnivåer. Denna energiöverföring uttrycks i form av kilowatt, kW, alltså tusen energienheter per sekund, 1000 joule per sekund. Men även om laddinfrastrukturen tillåter en viss effekt så gäller det även att fordonets interna system klarar av att ta emot denna effekt.

Det vanligaste är att laddning sker statiskt och konduktivt. Statiskt betyder att fordonet står stilla under laddningen och konduktivt betyder att fordonet elektriskt kopplas samman med laddinfrastrukturen för att få till effektiv energiöverföring med låga förluster.

### 2.2.1 Tekniker för energiöverföring vid laddning

#### Statisk konduktiv laddning - manuell koppling

De olika typerna av laddkopplingar som presenteras nedan har getts de olika benämningarna långsam-, normal- och snabbbladdning utifrån deras effektnivåer. Det kan de intervall som benämningarna innefattar skifta mellan olika källor.

#### **Nivå 1 - Långsam laddning**

Denna nivå är konventionella hushållskontakter som laddar under 3,7 kW. De kommer inte att beröras i detta arbete då de avråds från att användas för regelbunden laddning av elektriska fordon (Elsäkerhetsverket, 2019)

#### **Nivå 2 - Normalladdning**

På denna nivå sker laddningen via växelström från 3,7 kW upp till maximalt 43,5 kW.

- **Type 1** (SAE J1772) används för normalladdning av växelström med en fas främst i Nordamerika med en laddeffekt på upp till 22 kW, enligt International Energy Agency är en modell under utveckling (SAE J3068) som kan använda en trefaskoppling och därmed ska tillåta upp till 43,5 kW (International Energy Agency [IEA], 2018) .
- **Type 2** (IEC 62192-2) är en liknande kontakt för växelströmladdning som levererar upp till 22 kW och är vanligast i Europa, med trefaskoppling kan den leverera 43,5 kW växelströmladdning (IEA, 2018).
- **GB/T** är en laddkontakt som kan ladda med växelström upp till 22 kW och som är vanligast i Kina (IEA 2018). För snabbbladdning finns det också en GB/T DC teknik som använder likström men här finns det signaler om en samutveckling med CHAdeMO som beskrivs nedan (InsideEV, 2018).

#### **Nivå 3 - Snabbbladdning**

- **CCS Combo type 1** är en utveckling av Type 1 kontakten som kompletterar växelströmskontakten med en likströmskontakt och därmed inkluderar båda. Denna laddkontakt tillåter likströmladdning från 50 kW och uppåt och används främst i Nordamerika (IEA, 2018).
- **CCS Combo type 2** är en utveckling av Type 2 kontakten som kompletterar växelströmskontakten med en likströmskontakt och därmed inkluderar båda. Denna laddkontakt tillåter likströmladdning från 50 kW och uppåt och används främst i Europa (IEA, 2018).
- **CHAdeMO** är en laddkontakt som utvecklats i Japan av de japanska bilproducenterna för att tillgodose snabbbladdning. Enligt organisationen för CHAdeMO (2018) möjliggör dagens laddkontakt en effektöverföring på 6 – 200 kW med likström (400 A x 500 V). Utveckling sker för att höja den maximala laddeffekten till 400 kW (400 A x 1000 V).
- **Tesla Supercharger** är biltillverkaren Teslas egen laddkontakt för sina personbilar som klarar av att leverera växelströmladdning och även likströmladdning upp till 145 kW (IEA, 2018). De har även uttalat sig om att troligtvis möjliggöra laddning upp till 200 eller 250 kW (Lambert, 2018b). När det gäller laddning för Tesla Semi aviseras om en MegaCharger laddare som ska klara av att leverera 1 MW laddeffekt (Lambert, 2018a)

### Statisk konduktiv laddning - automatisk koppling

För laddning vid högre effekter blir kabeln som kopplar kontakten till laddstolpen vid konduktiv laddning tyngre vilket gör den mer otymplig. Dessa högre effekter blir intressantare för ett tyngre fordon när den installerade batterikapaciteten ökar och det därmed tar längre tid att ladda upp batteriet om inte effekten ökar. Om det dessutom inte finns så mycket tid för laddning exempelvis som för en buss i linjetrafik är det smidigare att frångå den manuella kopplingen när det gäller tilläggs-laddning under rutten och istället använda en teknik med automatisk inkoppling. **Pantograftekniken** som traditionellt används på tåg och spårvagnar är en sådan lösning där en skena automatiskt fälls ner från en laddstolpe som sträcker sig över bussen, denna skena skapar kontakt med en laddskena på fordonets tak och laddning sker.

### Statisk induktiv laddning

En annan teknik som används på vissa platser är laddning via induktion vilket därmed tillåter trådlös laddning oftast från en laddplatta i marken för trådlös överföring till fordonets undersida. Detta tillåter smidig laddning då ingen kontakt mellan laddkontakt och fordon behöver åstadkommas. Beroende på storleken på den luftspalt som finns mellan laddplattan och fordonet kan förlusterna blir olika stora.

### Dynamisk laddning

När batteristorleken ökar för tyngre fordon ökar också deras räckvidd, men samtidigt ökar den energimängd som behöver överföras för att kunna ladda upp batteriet igen. Med laddning vid hög effekt kan en stor mängd energi överföras på kortare tid. Detta kan vara problematiskt för elnätets möjlighet att leverera effekten, utöver detta innebär det också en större investeringskostnad. Om laddning sker vid lägre effekter krävs det längre tid för att överföra effekten och det kan vara svårt att få ihop med rutten och skift som lastbilen kör om det sker via statiskt laddning som kräver att fordonet står stilla. En lösning på detta är att ladda fordonet under färd så kallad **dynamisk laddning**.

Här forskas det på olika sätt att gå tillväga. Siemens utvecklar en lösning med en pantografteknik och en överliggande kontaktledning som i första steget inriktar sig på att lastbilar ska kunna koppla upp sig mot ledningen under färd på motorväg. Med den intelligenta strömavtagaren på lastbilens tak ska den kunna koppla sig upp och ner från ledningen i upp till 90 km/h. Vid nedkoppling skiftar den hybrida lastbilen över till förbränningsmotor som i framtiden kan vara en elektrisk motor med batteri. Denna teknik testas på en 2 km lång sträcka på motorvägen E16 vid Sandviken i normal trafik tillsammans med svenska aktörer (Siemens, 2015).

Ett annan lösning på laddning under färd är att lägga en skena i körbanan och låta strömavtagaren sänkas nedåt istället. Detta system utvecklar ElonRoad AB i Lund som vuxit fram ur ett forskningsprojekt på Lunds tekniska högskola, LTH. De poängterar att fördelen med en skena i vägen är att avståndet till skenan skiljer sig mindre mellan fordonen och därmed skulle fungera för både små personbilar och stora lastbilar (ElonRoad, 2017). Konsortiet Elvåg Syd har varit med i en upphandling hos Trafikverket och har fått medel för att ta fram en plan för genomförande av cirka en kilometer elvåg med ElonRoad tekniken på en gata i centrala Lund (Elvåg Syd, 2019).

Ett tidigare examensarbete på avdelningen för Industriell elektroteknik och automation vid LTH har tittat på hur en implementering av denna skena på endast några utvalda gator tillsammans med viss laddning vid laddstolpe vid ändhållplats skulle kunna möjliggöra en elektrifiering av stadsbussarna i Lund (Alfredsson & von Essen, 2018). I examensarbetet lyfter författarna att om andra elektriska fordon som lastbilar och personbilar också tillåts ta del av detta system så ökar nyttan av investeringen (a.a.).

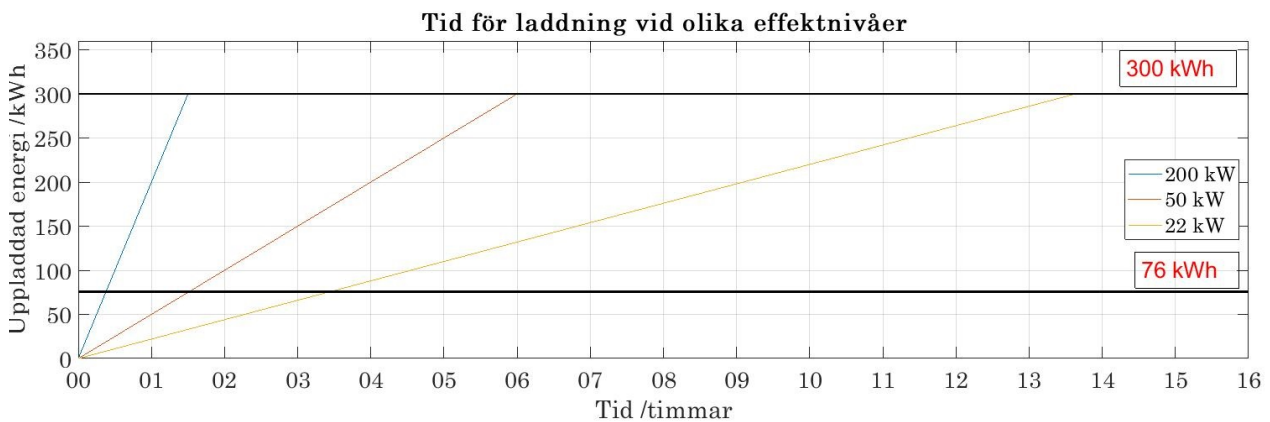
## 2.2.2 Energiöverföring vid olika laddeffekter

Efter att ha presenterat vilka olika laddeffekter som olika typer av laddinfrastruktur kan leverera kommer betydelsen av dessa laddeffekter för den överförda mängden energi nu att diskuteras närmare. Laddeffekterna 22 kW, 50 kW och 200 kW kommer därför studeras närmre i en simulering för att ge en förståelse för deras energiöverföringspotential (se tabell 2.5). Där har laddeffekterna även relaterats till fulladdning av batteristorlekarna 76 kWh och 300 kWh från 0 till 100 %. För att ge bättre förståelse för den totala överförda mängden energi efter en viss tidsperiod har detta visualiserats i figur 2.1.

Det ska dock poängteras att dessa simuleringar är en förenkling av ett verkligt laddningsförfarandet. I verkligheten avtar laddningshastigheten när batteriet närmar sig full laddning och blir därför något längre än den som beräknas här (Battery University, 2018). Det antas också att den givna laddeffekten kan levereras konstant från elnätet och inte faller under denna nivå under laddningen. Men inte bara elnätet kan vara begränsande, vid laddning alstras värme och om batteriet laddas för länge vid hög effekt kan det nå en för hög temperatur som kräver att laddningen pausas tills batteriet svalnat. Vid laddning upp till 80 % av batterikapaciteten är dock antagandet att energiöverföringen sker linjärt en vanlig approximation (Battery University, 2018) och simuleringen kan därför ge bättre förståelse för laddningsförfarandet inom detta intervall.

**Tabell 2.5:** Visar den maximala energiöverföringen i kilowattimmar per minut och per timme som kan fås vid optimala laddningsförhållanden för de tre valda laddeffekter i kilowatt. Utöver detta görs en enkel uppskattning om hur lång tid det tar att fulladda de två batteristorlekarna som valts för fallstudien. Det är dock viktigt att påpeka att detta är en förenkling av ett verkligt laddningsförfarande.

Laddeffekt	Energiöverföring		300 kWh	76 kWh
22 kW	~ 0,4 kWh/min	~ 22 kWh/h	~ 13 h 40 min	~ 3 h 30 min
50 kW	~ 0,8 kWh/min	~ 50 kWh/h	~ 6 h 0 min	~ 1 h 30 min
200 kW	~ 3,3 kWh/min	~ 200 kWh/h	~ 1 h 30 min	~ 24 min



**Figur 2.1:** Visar hur stor energimängd som kan överföras per tidsenhet, visat här för de tre olika laddeffekterna 22 kW, 50 kW och 200 kW. Detta relateras också till hur lång tid det tar att överföra 300 kWh respektive 76 kWh vid de olika laddeffekterna. Det är viktigt att påpeka att detta är en förenkling av ett verkligt laddningsförfarande men är en god approximation för att öka förståelsen för laddtid.

## 2.3 Batterilivslängd och användningsrekommendationer

Den vanligaste typen av batterier som används idag i elektriska fordon är litiumjonbatterier. I detta avsnitt kommer det studeras närmare hur batterilivslängden påverkas av hur batteriet används.

Den angivna batterikapaciteten på de lastbilar som beskrivits ovan är den totala batterikapaciteten som batteriet innehar i nyskick. Beroende på hur batteriet används så slits batteriet olika fort och därmed den hastighet med vilken den tillgängliga batterikapaciteten minskar. Ett batteri anses oftast som uttjänt för fordonet när batterikapaciteten minskar till 80 % av den ursprungliga kapaciteten, så kallat End-of-Life. Efter denna nivå avtar batterikapaciteten snabbt vid användning (Berl & Eider, 2018).

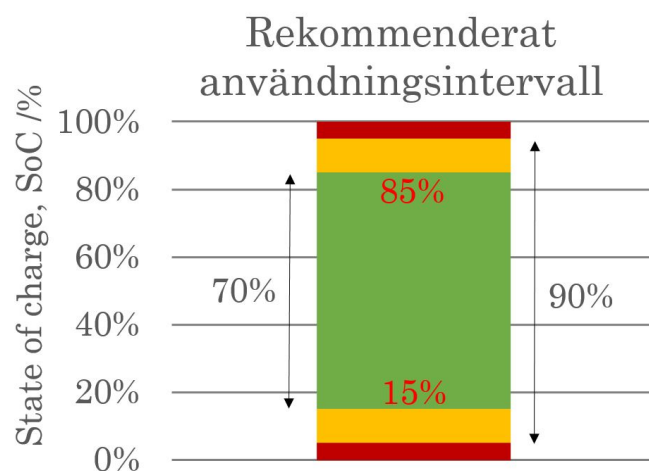
Batteriets livslängd uttrycks inte främst i tid utan i antalet cykler som batteriet går att fulladda innan det når End-of-Life även om tidsaspekten också har en inverkan. De faktorer som är de viktigaste när det gäller degradering av batteriet och därmed hur många cykler det klarar av innan den tillgängliga batterikapaciteten sjunkit till 80 % (Rezvanizani et al., 2014):

- Strömstyrka vid urladdning
- Laddeffekt vid uppladdning
- Urladdningsnivå, så kallad Depth-of-Discharge, DoD
- Omgivande temperatur
- Tidsintervall mellan fulladdningscykler

De tre förstnämnda faktorerna kopplade till degradering beror främst på laddning och körning. Ju större ström eller effektflödet, exempelvis vid snabbaddning, desto snabbare åldras batteriet vilket beror på den förhöjda batteritemperatur det medför (Berl & Eider, 2018). Vid vilken omgivande temperatur man laddar och kör vid kan även påverka åldrandet olika. Den optimala temperaturen för batteriet är 15-50 °C (Berl & Eider, 2018).

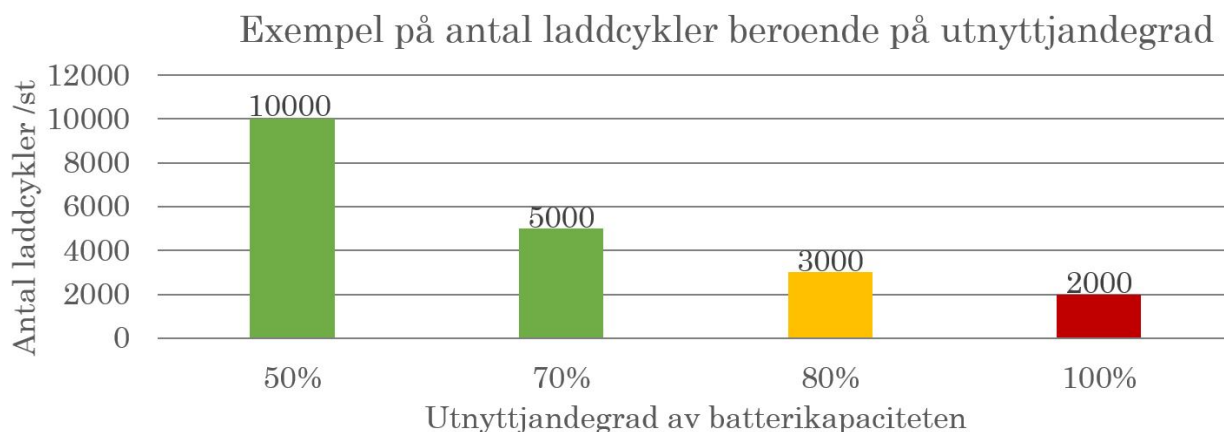
Utöver den effekt man laddar vid har det även stor påverkan på batteriets degradering om en stor del av batteriets tillgängliga kapacitet utnyttjas vid upp- och urladdning. Urladdningsnivån eller Depth-of-Discharge, DoD är hur mycket av den tillgängliga batterikapaciteten som laddats ur vid ett körtillfälle. Om mer än cirka 80-90 % av batteriet laddas ur så att mindre än cirka 10-20 % av energin kvarstår sliter detta extra på batteriet och minskar antalet möjliga cykler. Detsamma gäller för fulladdning, det bästa är att endast låta batteriet ladda upp till cirka 80-90 % för minskat slitage.

För att få en bättre uppfattning om hur batterislitaget påverkas av olika användarbeteenden presenteras här rekommendationerna från batteritillverkaren GWL Power (2012) för deras litiumbatteri  $\text{LiFePO}_4$  (Litium-Järn-Fosfat). Med ett användningsintervall på endast 70 % av batteriet hålls batterislitaget för detta batteri nere vilket illustreras med den gröna färgen i figur 2.2 (GWL Power, 2012). Detta ger en uppfattning om hur litiumjonbatteri generellt bör utnyttjas för att minska på slitaget. Detta intervall bör ligga i mitten av batterispektrat för lägst slitage (Berl & Eider, 2018).



**Figur 2.2:** Det rekommenderade användningsintervallet för laddning av ett litiumjonbatteri av typen LiFePO<sub>4</sub> enligt tillverkaren GWL Power (2012). Om batteriet utnyttjas maxiamalt, 100 % sker ett högt batterislitage och livslängden på batteriet förkortas. För att öka livslängden rekommenderar GWL Power (2012) att aldrig låta batterinivån sjunka lägre än till 15 %. Men det är inte heller bra att ladda mer än till 85 % av batteriets kapacitet. Detta ger en nyttjandegrad på 70 % av batterikapaciteten. Inom detta spann erhålls längre livslängd (se figur 2.3), om 90 % av batterikapaciteten utnyttjas fås en kortare livslängd än om 70 % utnyttjas. Dessa storleksordningar är i linje med de fakta presenterad i vetenskapliga rapporter (Berl & Eider, 2018), (Rezvanizani et al., 2014) och ger en uppfattning om hur ett litiumjonbatteribatteri bör användas för att minska slitaget. Källa: GWL Power, 2012

GWL Power (2019) har utifrån utnyttjandegraden även uppskattat antalet laddcykler som kan genomföras innan deras LiFePO<sub>4</sub>-batteri är uttjänt vilket påverkas starkt av utnyttjandegraden (se figur 2.3). Detta ger en uppfattning om hur antalet möjliga laddcykler påverkas av utnyttjandegraden för ett generellt litiumjonbatteri.



**Figur 2.3:** Det uppskattade antalet laddcykler för ett litiumjonbatteri av typen LiFePO<sub>4</sub> om endast en viss procentandel av batterikapaciteten utnyttjas enligt batteritillverkaren GWL Power (2019). Detta ger en uppfattning om hur livslängden för ett litiumjonbatteri kan påverkas av hur stor utnyttjandegraden är. Med en hög Depth-of-Discharge kan batteriet användas i färre laddcykler. Färgerna korresponderar till nivåerna presenterade i figur 2.2. Källa: GWL Power, 2019.

Om en elektrisk lastbil uppskattningsvis är i drift varje arbetsdag under ett år (ca 250 st) och endast utnyttjar nattladdning blir det uppskattningsvis 250 genomförda laddcykler på ett år. Detta betyder grovt räknat 2500 laddcykler på 10 år och 5000 laddcykler på 20 år. Med en utnyttjandegrad på 70 % skulle uppskattningsvis runt 5000 laddcykler vara möjliga enligt GWL Power (2019). Om vissa dagar har lägre utnyttjandegrad vilket borde tillåta vissa dagar med en högre utnyttjandegrad.



### 3 Fallstudie och datainsamling

För att undersöka om lastbilar i Malmö kan elektrifieras har en fallstudie ställts upp i samarbete med ett lokalt åkeri vilken kommer behandlas i detta kapitel. Syftet med fallstudien är att skapa en god förståelse för de krav som åkeriet ställer på sina lastbilar. Fallstudien bestod av både en kvalitativ del och en kvantitativ del för att skapa både en detaljerad förståelse för lastbilarnas rutten men även sätta de i en bredare kontext utifrån åkeriets erfarenheter. Kapitlet består av fem avsnitt:

- i avsnitt 3.1: introduktion av fallstudien.
- i avsnitt 3.2: bredare förståelse för kraven på lastbilarna.
- i avsnitt 3.3: kvantitativ datainsamling för detaljerad analys.
- i avsnitt 3.5: kvalitetskontroll av insamlade data.
- i avsnitt 3.4: analys av insamlad data.

#### 3.1 Introduktion av fallstudie

Fallstudien har utförts i Malmö stad som är en storstad belägen i Skåne i södra Sverige. Staden har 333 600 invånare vilket gör den till Sveriges tredje största stad (SCB, 2017). Malmö ligger ett stenkast från Köpenhamn och ingår i Skandinaviens största storstadsområde, Greater Copenhagen, som har över 4 miljoner invånare (Malmö stad, 2018).

Studien har skett i samarbete med en av Malmös större speditiionsfirmor och ett av deras medlemsåkerier. Inom distribution har speditiionsfirman ett 80-tal distributionsbilar och ett 20-tal budbilar. Åkeriet i fråga har 9 anställda och hade vid studiens början 4 lastbilar varav en tung lastbil och resterande lätta lastbilar.

Då åkeriföretaget använde en 18 ton tung lastbil och 4 lätta lastbilar valdes dessa två typer till att studeras i fallstudien. Med tanke på att antalet tillgängliga GPS-enheter uppgick till 3 stycken beslutades arbetet till att innefatta 3 av åkeriets 4 lastbilar. Den tunga lastbilen valdes till att ingå i undersökningen och benämns hädanefter lastbil T (se figur 3.1a). Utöver denna valdes två av de lätta lastbilarna som båda var av samma modell och hädanefter benämns lastbil L1 och L2 (se figur 3.1b). I tabell 3.1 beskrivs lastbilsmodellerna i närmare detalj.



(a) Mercedes-Benz Antos



(b) Peugeot Boxer

**Figur 3.1:** Visar de två lastbilarna som undersöktes. Den tunga lastbilen T (a) var av märket Mercedes-Benz och modellen Antos och de lätta lastbilarna L1 & L2 (b) var båda av märket Peugeot och modellen Boxer. Foto: Freddy Larsson.

**Tabell 3.1:** Detaljerad beskrivning av de två lastbilmodeller som åkeriet använde och som studerades i fallstudien

<b>Lastbilsbeskrivning</b>		
	<b>Lastbil T</b>	<b>Lastbil L1 &amp; L2</b>
<b>Tillverkare</b>	<i>Mercedes – Benz</i>	<i>Peugeot</i>
<b>Modell</b>	<i>Antos</i>	<i>Boxer</i>
<b>Maximal tillåten totalvikt</b>	18 ton	3,5 ton
<b>Tjänstevikt</b>	9,9 ton	2,6 ton
<b>Lastvikt</b>	8,1 ton	0,9 ton
<b>Lastvolym</b>	40 m <sup>3</sup> , 18 <i>pallplatser</i>	18,5 m <sup>3</sup> , 8 <i>pallplatser</i>
<b>Bränsle</b>	Diesel	Diesel
<b>Tankvolym</b>	300 l	90 l
<b>Maximal motoreffekt</b>	160 kW	120 kW
<b>Bredd</b>	2,6 m	2,2 m
<b>Höjd</b>	4,0 m	3,1 m
<b>Längd</b>	9,7 m	6,7 m
<b>Inköpspris</b>	1 090 000 SEK	330 000 SEK

I dessa lastbilar placerades GPS-enheter ut för att samla in information om rutter och hastigheter vilket kommer presenteras mer ingående i avsnitt 3.3. För att komplettera denna information och få bättre förståelse för hur det fungerar generellt genomfördes en kvalitativ studie som först presenteras.

## 3.2 Intervjuer för bredare förståelse av lastbilarnas körmönster

För att få en bredare förståelse för lastbilarnas dagliga rutiner och de frågor som åkeriet ställs inför genomfördes en kvalitativ studie. Den kvalitativa studien bestod av två semi-strukturerade intervjuer med det undersökta åkeriet samt en observationsstudie under färd i den tunga lastbilen vilka presenteras nedan. Målet var att skapa en bättre förståelse om hur väl den insamlade datan representerade åkeriets övriga verksamhet.

### 3.2.1 Åkeriets erfarenheter kring typiska rutter samt barriärer för elektrifiering

För att få en bättre förståelse för de frågor åkeriet ställs inför i sitt dagliga arbete och skapa bättre förståelse för hur lastbilarnas rutter ser ut generellt så krävdes kunskapsinsamling från åkeriets personal. För att uppnå detta genomfördes två semi-strukturerade intervjuer med personal på åkeriet. Den första intervjun med åkeriet var med transportledare tillika ägare och genomfördes den 29 oktober 2018 och den andra intervjun var med en av chaufförerna under hela dennes arbetspass den 30 oktober 2018. Ett av syftena med intervjuerna var att få en bild av hur en dag vanligtvis ser ut för de undersökta lastbilarna baserat på erfarenhet för att ge kontext till den kvantitativa studien. Det andra syftet var att få en förståelse för hur åkeriet upplever andra frågor i sitt dagliga arbete som exempelvis barriär för att introducera elektriska fordon. De semi-strukturerade intervjuerna bestod av frågor som på förhand hade formulerats, men stor möjlighet gavs för både den intervjuade och intervjuaren att fördjupa samtalen inom intressanta områden. I avsnitten nedan presenteras resultaten från dessa intervjuer.

#### Beskrivning av typisk dag för lastbil T

För den tunga lastbilen T börjar en dag enligt den intervjuade chauffören normalt 4.30 då lastbilen efter gårdagens skift står parkerad vid lastkajen till lastterminalen där allt gods hanteras på lastbilscentralen. Denna första halvtimme lastas dagens första last och chauffören påbörjar första rundan kl. 5.00. Denna tur har två stopp, varav det första stoppet sker i Malmö och det andra stoppet i Lund. Sedan åker chauffören åter till lastbilscentralen i Malmö för att lasta nytt gods för dagens andra runda och ta en frukostrast på 30 min. Denna runda avgår från lastbilscentralen kl. 7.00. Utgående från lastbilscentralen körs längre och kortare sträckor inom Malmö stad och dess periferi. Stoppen sker både hos butiker och byggarbetsplatser, vilka betyder olika lossningsmiljöer som ställer olika krav på chauffören. När allt gods är lossat återgår chauffören till lastbilscentralen. Dagen för intervjun fanns mer skrymmande gods vilket krävde en andra runda, detta behov skiftar mellan dagar med godsmängdens variation. Normalt slutar chauffören sitt pass och dagens första skift vid kl. 12.

Generellt för dagens första skift sker först 2 morgonstopp innan frukost, därefter brukar förmiddagens pass

bestå av ungefär 10-15 stopp enligt den intervjuade chauffören. När chauffören tidigare kört uppdrag för andra kunder kunde antalet stopp bli uppemot 30 st under förmiddagsskiftet.

Dagens eftermiddagsskift påbörjas oftast strax efter att förmiddagspasset är över vid ca kl. 12.30 - 13 och avslutas vanligtvis mellan kl 18 - 19. Enligt intervjuerna består detta pass av regional trafik som sker över hela Skåne vilket resulterar i mycket motorvägskörning.

När lastning vid lastbilscentralen sker får chauffören en lastsedel som ger information om varje stopp. Dessa sorterar vid centralen av transportledaren och avgör godsets placering i lastbilen. De flesta stoppen känner chauffören till sedan tidigare och kör vant längs Malmös gator enligt eget huvud. Om det kommer nya stopp eller om chauffören inte hittar används vanlig kartsök i mobiltelefonen. Ett normalt stopp för lossning tar ungefär 5-10 min, när det gäller långgods kan det ta upp till 20 min.

### **Beskrivning av typisk dag för lastbil L1 & L2**

Den lätta lastbilen L2 lastar normalt kl. 4.30-5.00 och kl. 5 körs en kortare runda för leverans till en specifik kund berättar intervjupersonerna. Efter denna runda kommer lastbilen tillbaka till lastbilscentralen ca 5.45 för att lasta inför förmiddagsrundan som avgår vid ca kl. 7. Den andra lätta lastbilen L1 kör bara den runda som avgår vid kl. 7 och börjar därför lasta från kl. 6 vid lastbilscentralen.

L1 kör främst i staden medan L2 har ett större område av Malmö som även innefattar leveranser till dess ytterområden. Antalet stopp under en dag är ungefär 30-45 st per lastbil enligt intervjuerna. Vid vissa extrema fall antalet stopp uppgått till 60 st. Oftast lastas de lätta lastbilarna bara en gång inför förmiddagsrundan utan att behöva återgå till lastbilscentralen för ny lastning innan dagen är slut.

De lätta lastbilarna är nästan alltid fulla. Det som inte ryms efter att de lätta lastbilarna är fyllda lastas i den tunga lastbilen, detta gäller även skrymmande eller tyngre gods. Typen av gods varierar, men i de lätta lastbilarna är det främst paket. Ett normalt stopp för lossning tar ca 2-5 min.

### **Rast**

Enligt arbetstidslagen ska chauffören ha 45 min rast efter 6 h jobb, enligt åkeriet tillämpar de 60 min. Vanligtvis delas detta upp på 30 min för frukost från kl. 6.30 efter att godset är lastat. Ute på rutten tas sedan 15-30 min paus vilket typiskt kan infalla runt kl. 9 och 9.30 men det är upp till chauffören. Ett förmiddagsskift slutar normalt runt kl. 12.

### **Barriärer mot införskaffande av elektriska lastbilar**

De främsta barriärer som åkeriföretaget upplevde inför att införskaffa elektriska lastbilar var enligt intervjuerna kopplat till inköpskostnaden och osäkerheten kring om energiinnehållet i batteriet ska räcka till.

Med el som bränsle istället för diesel blir driftskostnaden lägre men en elektrisk lastbil har en högre inköpskostnad, utöver detta tillkommer kostnad för laddinfrastruktur.

När det gäller osäkerheten kring om energin räcker till beskriver de intervjuade sina tankar som räckviddsångest. Kan de vara säkra på att hinna tillbaka till depån innan energin tar slut? Och om de skulle behöva ladda under sin rutt, hur långt är det då till nästa laddplats och är den ledig? Ett annat problem som de intervjuade lyfter är att själva laddningen kräver en extra paus som tar värdefull tid vilket kan minska antalet möjliga leveranser och därmed intäkterna.

### **3.2.2 Observationsstudie - Potential för laddinfrastruktur vid olika lossningsscenarion**

Som presenteras i intervjuerna i föregående kapitel är ett av de problem som åkeriet upplevde med elektriska fordon, när det gäller tillräcklig mängd energi, att kunna ladda vid en laddplats som inte är för långt utanför lastbilens planerade rutt. Om rutten ej tillåter laddning på lastbilscentralen skulle en lösning kunna vara att ladda hos de kunder där lossning sker. Då skulle laddning kunna ske under den tid då lastbilen redan står stilla och lossar godset och ingen tid förloras. Det som skulle kunna vara problematiskt med en sådan lösning är att det kräver ett djupare samarbete med kunden och även kan innebära en låsning till den specifika kunden. Utöver detta är det inte alla lossningsplatser vars fysiska utformning lämpar sig för laddning vid lossning. För att få en bättre förståelse för möjligheten till laddning kommer olika lossningsplatser därför att

studeras i en observationsstudie.

Observationsstudien genomfördes under förmiddagens skift för lastbil T den 30 oktober 2018 kl. 5-12. Under studien tydliggjordes fyra typer av lossningssituationer med olika karakteristik, dessa fyra typer var:

### **Lossning vid lastkaj**

Under lossning vid lastkaj upplevdes lastbilens position vara väl definierad enligt observationsstudien samtidigt som ytan uppfattades som förbehållen lossande lastbilar. Denna utformning upplevdes därmed kunna ha potential till installation av laddinfrastruktur för laddning vid lossning.

### **Lossning vid port i markplan**

Under lossning vid port i markplan med dedikerad lastplats upplevdes lastbilens läge vara mer godtyckligt jämfört med vid lastkajen och utifrån de få observationerna som gjordes upplevdes ytan mer trafikerad av annan trafik jämfört med vid lastkajen. Dock inte i samma utsträckning som vid lossning på gatan. Även denna utformning upplevdes ha potential till installation av laddinfrastruktur för laddning vid lossning.

### **Lossning på gatan**

I observationsstudien noterades det att vid lossning på gatan var det stor risk att det inte fanns någon dedikerad lastplats och valet av parkering uppfattades bli mer godtyckligt. Men även med en dedikerad lastplats drogs slutsatsen att det fortfarande kan vara problematiskt att få till en installation av laddinfrastruktur då ytan tillhör det offentliga rummet där konkurrensen om utrymmet är stor. Det är viktigt att komma ihåg att laddinfrastrukturen även kräver en transformatorstation med tillräcklig kapacitet för att kunna försörja laddstolpen vilken också tar upp plats. Utifrån denna analys upplevs denna typ av plats ha lägre potential för installation av laddinfrastruktur för laddning vid lossning.

### **Lossning vid byggarbetsplats**

Platsen för lossning vid en byggarbetsplats är föränderlig och själva leveransstället är till sin natur tillfälligt. Därför upplevdes potentialen för laddning vid lossning på denna typ av plats som låg. Framöver kan dock ett större intresse av att elektrifiera arbetsmaskiner leda till nya lösningar som skulle kunna ge nya möjligheter.

### 3.3 Kvantitativ datainsamling för detaljerad analys

För att kunna dra specifika slutsatser utifrån det valda åkeriet och genomföra noggrannare analyser genomfördes en detaljerad datainsamling. Denna kvantitativa del hade som syfte att samla in högupplöst data för de tre lastbilarna för att kunna ligga till grund till en detaljerad modellering. Metoden för datainsamlingen kommer beskrivas nedan och sedan följas av:

- i avsnitt 3.4 kvalitetskontroll av insamlad data.
- i avsnitt 3.5 analys av insamlad data.

Insamlingen av datan genomfördes med hjälp av 3 GPS-enheter av märket COLUMBUS och modellen V-990 under 8 påföljande dagar för varje lastbil, detta inkluderade två helgdagar vilka inte studerades då de inte ingick i åkeriets verksamhet. Datainsamlingen påbörjades tisdagen den 30 oktober 2018 och pågick t.o.m. tisdagen den 6 november 2018. GPS-enheterna kopplades in kvällen innan den första insamlingsdagen med sladd till cigarettuttaget och slogs därmed automatiskt på och av när tändningen på lastbilarna slogs på respektive av. Vilket betyder att ingen data samlades in när motorerna var avstängda.

Den 30 oktober när intervju- och observationsstudien genomfördes under färd noterades även tid och adress manuellt för när stopp påbörjades och avslutades. Vilket betyder att denna information kompletterar den insamlade GPS-datan under dag 1 för lastbil T. Denna information användes i datakontrollen i kap 3.4.

GPS-enheterna samlade in data för varje sekund och den datan bestod av information gällande datum och tid, geografisk placering genom latitud- och longitudkoordinater samt data om altitud, hastighet och riktning. Ett utdrag kan ses i tabell 3.2. I de kontroller som kommer presenteras i kapitel 3.4 framkom det att GPS-enheten misslyckats med att samla in några enstaka sekundvärde under dagen vilket skapat enstaka luckor i datamängden. Detta påverkar dock inte modelleringen av energiberäkningen vilket kommer behandlas i kapitel 4).

Efter en genomgång av altituddatan ansågs dess variation vara för stor och den innehöll även flera negativa värden, dessa anmärkningar skapade osäkerhet gällande dess tillförlitlighet. På grund av detta togs beslutet att exkludera altituddatan från beräkningarna. Informationen om i vilken riktning fordonet färdades användes inte i några beräkningar.

**Tabell 3.2:** Visar ett exempel på vilken typ av data som samlades in av GPS-enheterna för varje datapunkt.

Information i datapunkt							
Index	Datum ÅÅMMDD	Tid HHMMSS	Latitud WGS84 decimal	Longitud WGS84 decimal	Höjd [m]	Hastighet [km/h]	Riktning [360°]
1	181030	054454	55,625153	13,033043	26	10	200

### 3.4 Kvalitetskontroll av insamlad data

För att få en uppfattning om den insamlade datamängdens tillförlitlighet genomfördes en del kontroller för att avgöra dess kvalitet. Den insamlade datamängden innehöll många datapunkter vilket gjorde det svårt att dra starka slutsatser genom att endast kontrollera datan visuellt utifrån kalkylark, kartor och hastighetsprofiler. För att få möjlighet att se datan ur andra perspektiv genomfördes 5 olika kontroller av datan som kommer presenteras kort i avsnitten nedan. Dessa kontroller resulterade i att några felkällor identifierades. För att kunna få en uppfattning om dessa felaktigheter hade någon påtaglig påverkan genomfördes en datatvätt där dessa felaktigheter eliminerades för första dagen för lastbil T. Resultatet från denna datatvätt visade på att de upptäckta felaktigheterna hade en relativt liten påverkan på resultatet. Med tanke på den resulterande energiförbrukningen genomfördes inga datatvättar på den insamlade datan.

De avsnitt som kommer presenteras i detta kapitel är:

- i avsnitt 3.4.1 en jämförelse mellan GPS-data och manuell kontrollinformation.
- i avsnitt 3.4.2 en visuell kontroll av koordinaters avvikelse.
- i avsnitt 3.4.3 en kontroll av koordinatdrift vid stillastående.
- i avsnitt 3.4.4 en kontroll av enstaka hastighetsvärden vid stillastående lastbil.
- i avsnitt 3.4.5 en kontroll av differens mellan hastighetsvärden.
- i avsnitt 3.4.6 en datatvätt utifrån de funna felaktigheterna på ett fall.

#### 3.4.1 Jämförelse av GPS-data med manuellt insamlad kontrollinformation

I den första kontrollen jämfördes den insamlade datan för lastbil T under dag 1 med den manuellt insamlade kontrollinformationen från förmiddagspasset från samma dag, den dag då även intervju- och observationsstudien genomfördes i lastbilen. De insamlade GPS-punkterna och klockslagen från GPS-en stämde väl överens med den noterade kontrollinformationen om tid och plats för lossningsplatserna. Utifrån denna lokaliserades inga felaktigheter i datamängden.

#### 3.4.2 Visuell kontroll av koordinaters avvikelse

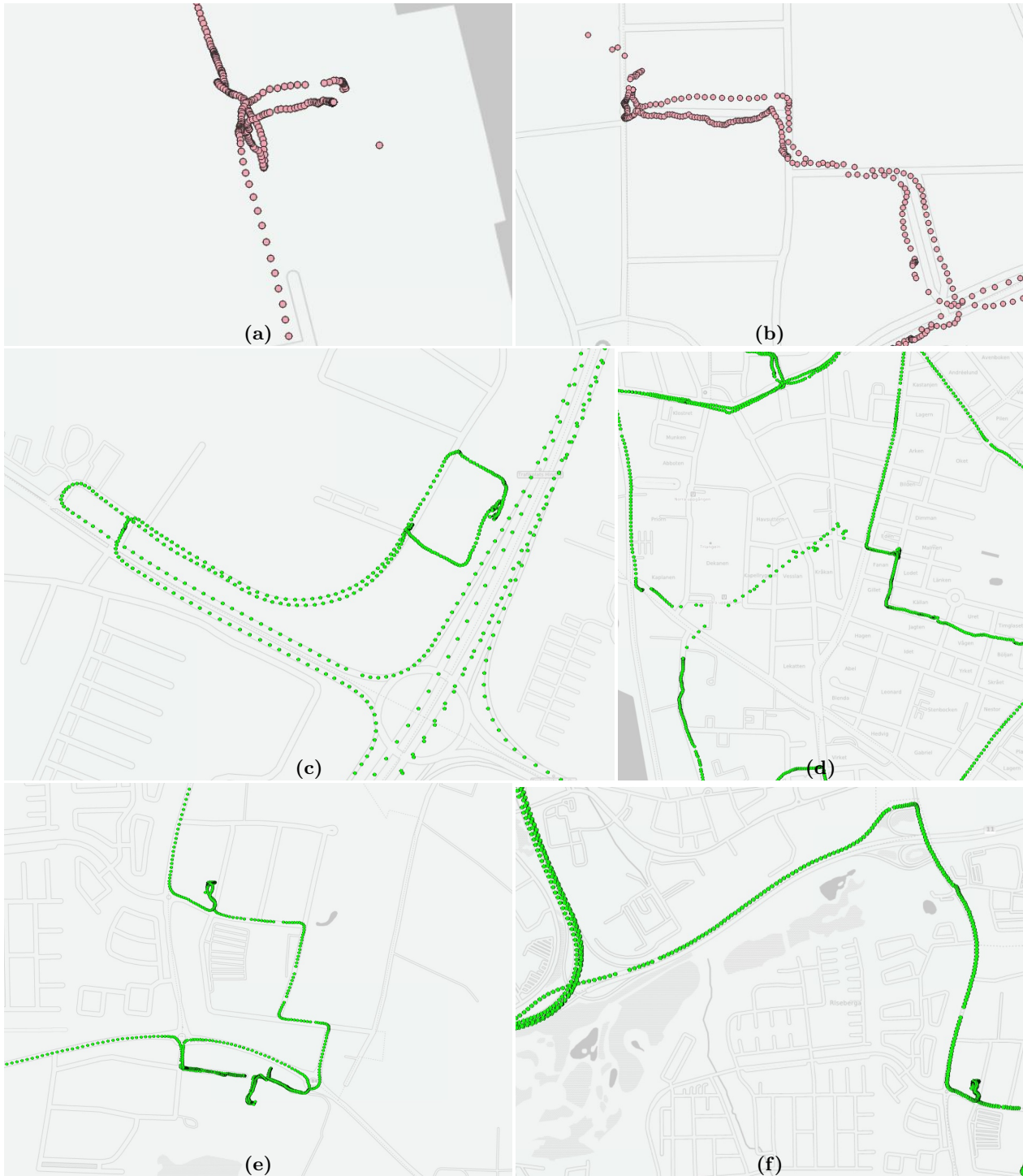
Den andra kontrollen bestod av en visuell genomgång av de insamlade koordinaterna. Med GPS-punkterna utplacerade på en karta med hjälp av programmet QGIS kunde lastbilarnas rutter följas. I ett första steg gjordes en kontroll mot den kontrollinformation som samlats in manuellt under förmiddagspasset under dag 1 för lastbil T. Datapunkterna för lastbil T följde rutten och gatorna väldigt väl och överensstämde med verkligheten.

Dock noterades en del felaktigheter där GPS-enheterna inte alltid lyckats samla in varje sekundvärde utan hoppat över enstaka sekunder 3.2f. Vid enstaka tidpunkter flyttade sig GPS-punkterna även avvikande 3.2a-3.2b och 3.2d. Den visuella kontrollen genomfördes för alla de undersökta dagarna för de tre lastbilarna och samma problem kunde ses för dessa dagar. Dock var den först dagen för lastbil T en av de dagarna då flest felaktigheter upptäcktes i den visuella analysen. Därför antogs denna vara relevant för fortsatta studier kring uppfattningen om felaktigheternas påverkan på slutresultatet.

Efter närmare analys av datamängden blev det tydligt att dessa uppkom när lastbilarna var stillastående. För dag 1 för lastbil T där kontrollinformation om lossningsplatser fanns tillgänglig stämde dessa väl överens med platserna där koordinatdrift uppträdde.

I hastighetsdatan gick det att se att GPS-enheten för dessa platser och tidpunkter dock i de flesta fall noterade nollhastigheter och endast i undantagsfall få låga hastigheter eller enstaka högre värden. Detta tydde på att GPS-enheterna inte endast utgick ifrån koordinaternas förflyttning när hastigheten avgjordes.

Med tanke på det stora antalet datapunkter var det svårt att få en överblick hur väl detta problem hanterades generellt. Därför valdes att göra en kontroll av koordinaters drift vid stillastående vilket presenteras i de två kommande avsnitten.



**Figur 3.2:** Visar sex stycken närmre undersökningar i den visuella kontrollen för första dagen för lastbil T. Koordinaterna för varje datapunkt för dagen representeras av en punkt på kartan. Överlag följer koordinaterna vägen väl (c),(e) och (f). Till höger i (a) syns en ensam felaktig punkt när lastbilen stått still. Det samma gäller flera punkter upp till vänster i (b). Här skedde körning bland tät stadsbebyggelse och GPS-enheten hade svårare att följa vägen. Samma problem är speciellt tydligt i (d) som var det enda fallet med så kraftig koordinatdrift. I (f) går det att se några enstaka luckor i koordinaterna som är ett tecken på att denna specifika sekund samlades ingen datapunkt in.

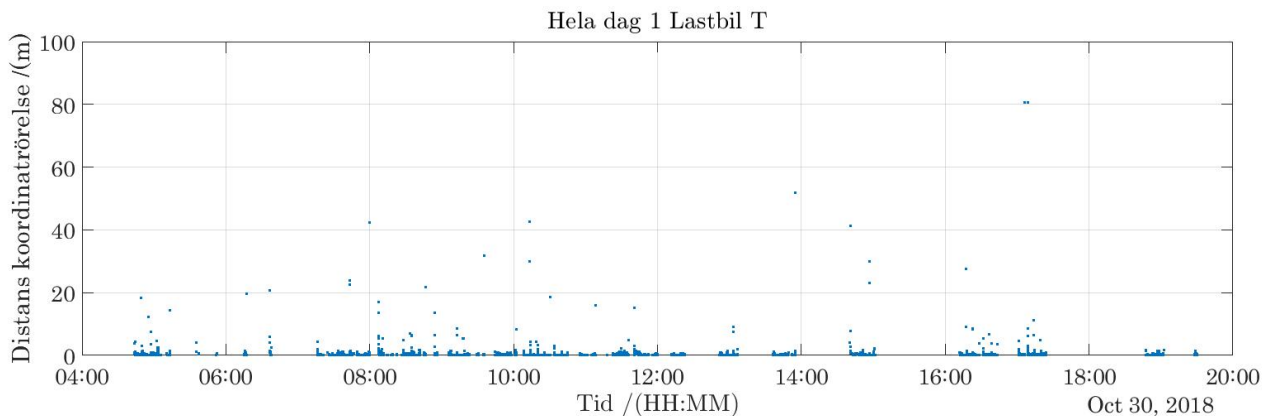
### 3.4.3 Kontroll av koordinatdrift vid stillastående

För att få en bättre förståelse för problemet med koordinatdrift som uppdagades i den visuella kontrollen genomfördes en tredje kontroll. Problemet verkade vara kopplat till de stunder då lastbilen var stillastående vid lastning och lossning. Information om exakt tid när lastning och lossning skedde var dock bara insamlad för förmiddagspasset under första dagen för lastbil T vilket inte medgav en metod för all insamlad data. Det upptäcktes att hastigheten noll i de flesta fall noterats då koordinatdrift förekom. Därför studerades i denna datakontroll av koordinatdriften den sträcka som koordinaterna förflyttade sig då GPS-enheterna noterat en hastighet av noll. Detta missar dock de datapunkter där hastigheter skilda från noll noterades när lastbilen var stillastående, dessa kommer därför att behandlas i nästa avsnitt. Ett exempel på denna spridning ges i figur 3.3 för första dagen för lastbil T. Samma studie genomfördes för samtliga dagar för de tre lastbilarna.

Alla dessa sträckor har summerats för varje dag för respektive lastbil och presenteras i tabell 3.3. Här presenteras även den totala genomförda sträckan för denna dag. Det blir tydligt att den felaktighet som uppstår vid koordinatdrift är liten. Dock togs ändå alla datapunkter med hastigheten noll bort från datamängden, förutom de som låg direkt före eller efter ett hastighetsvärde skiljt från noll.

En enkel lösning på problemet med koordinatdrift skulle vara att stänga av GPS-enheten vid stillastående. I detta fall skulle det ha inneburit att be chauffören slå av tändningen vid stillastående.

För energiförbrukningsberäkningarna i den avslutande delen av fallstudien används en modell som baseras på hastighetsdata och ej koordinatdata vilket betyder denna felaktighet inte kommer att påverka den beräknade energiförbrukningen.



**Figur 3.3:** Visar den koordinatdrift som skedde trots att GPS-enheten noterade att hastigheten var noll, här för hela dag 1 för lastbil T. Koordinatsträckan mellan datapunkter med nollhastighet representeras av punkterna. Datapunkter direkt före eller efter ett hastighetsvärde skiljt från noll studerades inte för att inte blanda ihop riktiga och felaktiga koordinatförflyttningar.

**Tabell 3.3:** Den totala sträckan per dag som koordinaterna enligt GPS-enheterna förflyttade sig då enheterna samtidigt noterade att hastigheten var noll. Först presenteras summan av felaktigheterna per dag och lastbil. Sedan jämförs de med den totala sträckan denna dag och hur stor felaktigheten var i procent av den totala sträckan. Problemet med koordinatdrift ansågs vara litet, men samtidigt vore en enkel lösning för chauffören att slå av tändningen vid stopp.

Lastbil											
T				L1				L2			
Dag	Fel	Totalt		Dag	Fel	Totalt		Dag	Fel	Totalt	
1	2,4 km	411 km	0,6 %	1	0,5 km	97 km	0,5 %	1	0,7 km	105 km	0,7 %
2	2,4 km	340 km	0,7 %	2	0,5 km	59 km	0,9 %	2	1,1 km	184 km	0,6 %
3	2,1 km	376 km	0,6 %	3	1,6 km	85 km	1,9 %	3	0,7 km	137 km	0,5 %
4	2,8 km	396 km	0,7 %	4	0,4 km	172 km	0,2 %	4	0,9 km	111 km	0,8 %
5	1,7 km	570 km	0,3 %	5	0,7 km	88 km	0,8 %	5	1,2 km	109 km	1,1 %
6	0,9 km	86 km	1,1 %	6	0,5 km	50 km	1,0 %	6	0,8 km	90 km	0,9 %

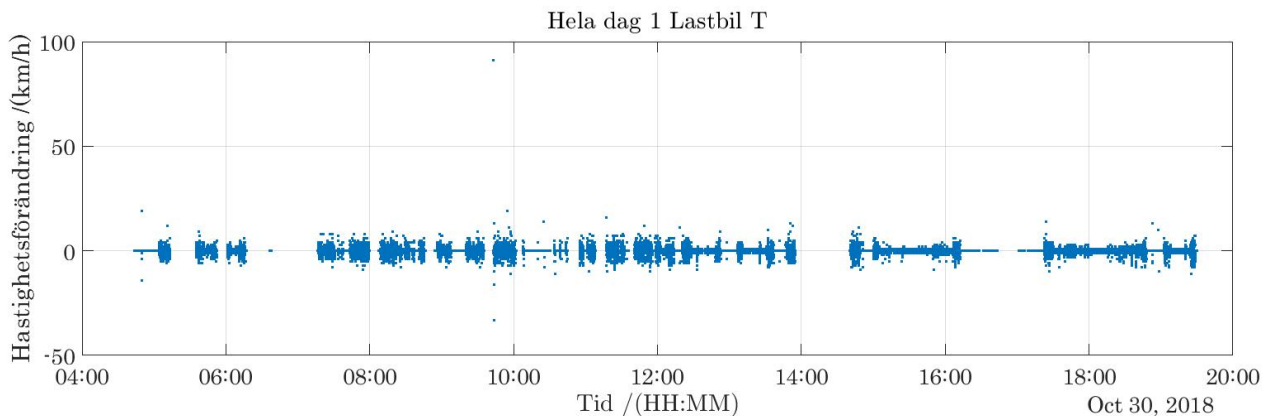


### 3.4.4 Kontroll av enstaka hastighetsvärden vid stillastående lastbil

För att få en uppfattning om hur stort problemet med koordinatdrift var när GPS-enheten noterade enstaka hastigheter skilda från noll genomfördes en fjärde kontroll. De få låga och ibland enstaka höga hastighetsvärden som uppdagades vid stillastående förekom i en mängd av nollor. Därför genomfördes en automatisk kontroll där alla delmängder bestående av upp till tre hastighetsvärden skilda från noll i en mängd av fem nollor direkt före och efter dessa tre noterades. Utifrån denna lista genomfördes sedan en manuell genomgång av de potentiella felaktigheterna för första dagen för lastbil T. En bedömning genomfördes av omkringliggande datamängd samt kartan för att avgöra om de lokaliserade datapunkterna var korrekta noteringar eller felaktiga som därmed raderades från datamängden. Ungefär hälften av de potentiella felaktigheterna bedömdes vara faktiska felaktigheter och plockades bort från datamängden för första dagen för lastbil T.

### 3.4.5 Kontroll av differens mellan hastighetsvärden

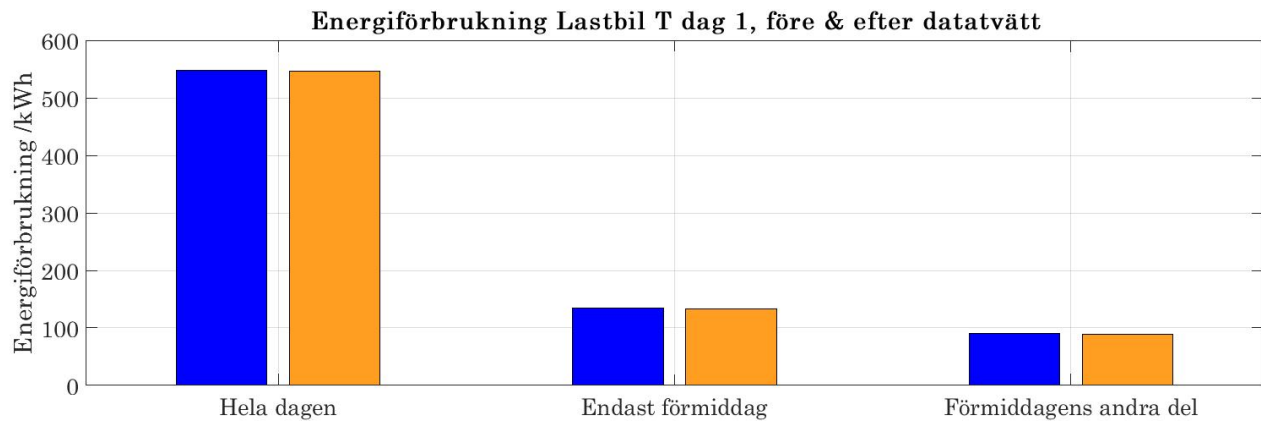
De föregående kontrollerna har gett bättre förståelse för hur datapunkterna beter sig när lastbilarna är stillastående. När det gäller hur hastighetsvärdena beter sig vid körning har kontroll av hastighetsprofilerna gett en överblick där kvaliteten framstod som god (se kapitel 3.4). Utifrån studie av hastighetsprofilerna var det dock svårt att urskilja varje datapunkt varför denna kontroll genomfördes för att studera differensen mellan varje hastighetsvärde för att se om det var några datapunkter som stack ut (se figur 3.4). Insamlingsfrekvensen för GPS-enheterna var en sekund vilket gav att skillnaden mellan dessa hastighetsvärden var lika med accelerationen, men detta visade sig inte vara helt korrekt. De punkter som gav hög acceleration och avvek från datamängden studerades närmare. För flera av dessa punkter var problemet inte hög acceleration utan i själva verket att tiden mellan dessa datapunkter var mer än en sekund och alltså inte representerade accelerationen. Därmed gick det inte att direkt avgöra om de noterade potentiella felaktigheten berodde på en orimlig acceleration eller om det berodde på glapp i datamängden. Alla de noterade punkterna lokaliserades i datamängden för första dagen för lastbil T och de som ansågs vara faktiska felaktigheter plockades bort ur datamängden och dess påverkan på resultatet studerades närmare i datavätten i kapitel 3.4.6.



**Figur 3.4:** Förändring i hastighet mellan varje datapunkt för hela första dagen lastbil T. Med en insamlingsfrekvens på en sekund ger skillnad i hastighet accelerationen som skedde mellan punkterna. Då visa luckor existerar i datamängden skapas vissa höga hastighetsförändringar som egentligen är fördelade på flera sekunder och därmed representerar inte alla punkterna i grafen accelerationen

### 3.4.6 Datatvätt utifrån resultatet från kontrollerna

Utifrån de olika kontrollerna uppdagades olika felaktigheter. I detta steg tvättades datamängden för första dagen för lastbil T ifrån dessa felaktigheter för att få en uppfattning om hur stor påverkan de hade på beräkningen av energiförbrukningen. Beräkningen av energiförbrukningen före och efter datatvätt kan ses i figur 3.5. När det gällde hela dagen minskade energiförbrukningen med 0,25 %. I det andra fallet med endast förmiddag var minskning efter tvätten 1 %. För det urbana passet på förmiddagens senare del blev minskningen 1,4 %. Det blev tydligt att de felaktigheter som uppdagats endast hade en marginell påverkan på beräkningen av energiförbrukningen. Därför togs beslutet att inte genomföra datatvätt på datamängderna innan energiberäkningarna genomfördes. Att inte ta bort felaktigheterna ger därmed en marginell överskattning av energiförbrukningen.



**Figur 3.5:** Den ursprungliga beräknade energiförbrukningen jämförd med energiförbrukningen baserad på den tvättade datan för de tre typerna av rutter för dag 1 lastbil T. De vänstra (blå) staplarna visar före datatvätt och de högra (gula) visar efter datatvätt för de tre fallen. Energiförbrukningen minskar något vid datatvätt men det är tydligt att datatvättens påverkan är marginell

### 3.5 Analys av insamlad data

För att få en bättre förståelse för den insamlade datan har den analyserats på tre olika sätt vilka presenteras i avsnitten nedan:

- i avsnitt 3.5.1 med körd sträcka.
- i avsnitt 3.5.2 med koordinater på kartor.
- i avsnitt 3.5.3 med hastighetsprofiler.

#### 3.5.1 Sträcka

Utifrån den totala körda sträckan för ett fordon kan en grov uppskattning göras om fordonets energiförbrukning. I detta första steg studerades de sträckor som lastbilarna körde under de undersökta dagarna.

Med hjälp av lastbilsmodellen som kommer presenteras i kapitel 4.1 integrerades den samlade sträckan för varje dag och lastbil utifrån de insamlade hastighetsvärdena (se tabell 3.4). Som diskuteras i kapitel 3 har GPS-enheterna för några enstaka situationer inte lyckats samla in datapunkter varje sekund men dessa datapunkter kompenserar modellen för. Den beräknade sträckan underskattas alltså inte av detta fel.

I ett första steg av studien genomfördes beräkningar av sträckorna utifrån de koordinater som samlats in av GPS-enheterna. Denna beräkning av sträckan blev något högre än den sträcka som diskuteras ovan som beräknats i modellen genom integrering av hastighetsdatan. Med tanke på de diskussioner som förs i kapitel 3.4 angående problemet med drift hos koordinaterna dras slutsatsen att denna felaktighet kan vara en av anledningarna till den högre sträckan. Den sträcka som beräknades genom integrering är den som upplevs som mest tillförlitlig och därmed den som presenteras här.

**Tabell 3.4:** Total körd sträcka i kilometer för de fem olika fallen under de sex undersökta dagarna. Samma som den totala sträckan som presenterades i 3.3. De tre fallen för lastbil T är hela eller delar av samma dag. Sträckan är beräknad genom integrering av hastighetsdatan. Den låga sträckan för lastbil T under dag 6 beror på att det inte körs något eftermiddagspass. Den högre sträckan för lastbil T under förmiddagen dag 6 beror på att en del av det urbana förmiddagspasset byttes mot en lokal tur. Detsamma gäller den längre sträckan för lastbil L1 under dag 4 där en lokal tur körs. För lastbil L2 är sträckan högre under dag 2 som beror på att ett urbant eftermiddagspass kördes efter det normala förmiddagspasset.

Lastbil	Dag					
	1	2	3	4	5	6
T - hela dagen	411 km	340 km	376 km	396 km	570 km	86 km
T - endast förmiddag (del av heldag)	105 km	105 km	98 km	84 km	173 km	86 km
T - förmiddagens andra del (del av förmiddag)	70 km	70 km	63 km	49 km	151 km	51 km
L1	97 km	59 km	85 km	172 km	88 km	50 km
L2	105 km	184 km	137 km	111 km	109 km	90 km

#### 3.5.2 Studie av geografisk utbredning med kartor

Även om det utifrån körd sträcka går att göra en grov uppskattning av energiförbrukningen har typen av körning en stor påverkan på energiförbrukningen. För att få en bättre förståelse i vilken trafikmiljö lastbilarna rörde sig genomfördes en närmare studie av de insamlade koordinaterna. Dessa visualiserades på kartor med hjälp av GIS-programmet QGIS för att få fram var lastbilarna rört sig geografiskt. Nedan kommer de tre lastbilarna att diskuteras närmare och kartorna för den första undersökningsdagen att visas. Kartorna för de resterande dagarna går att se i appendix A.1.

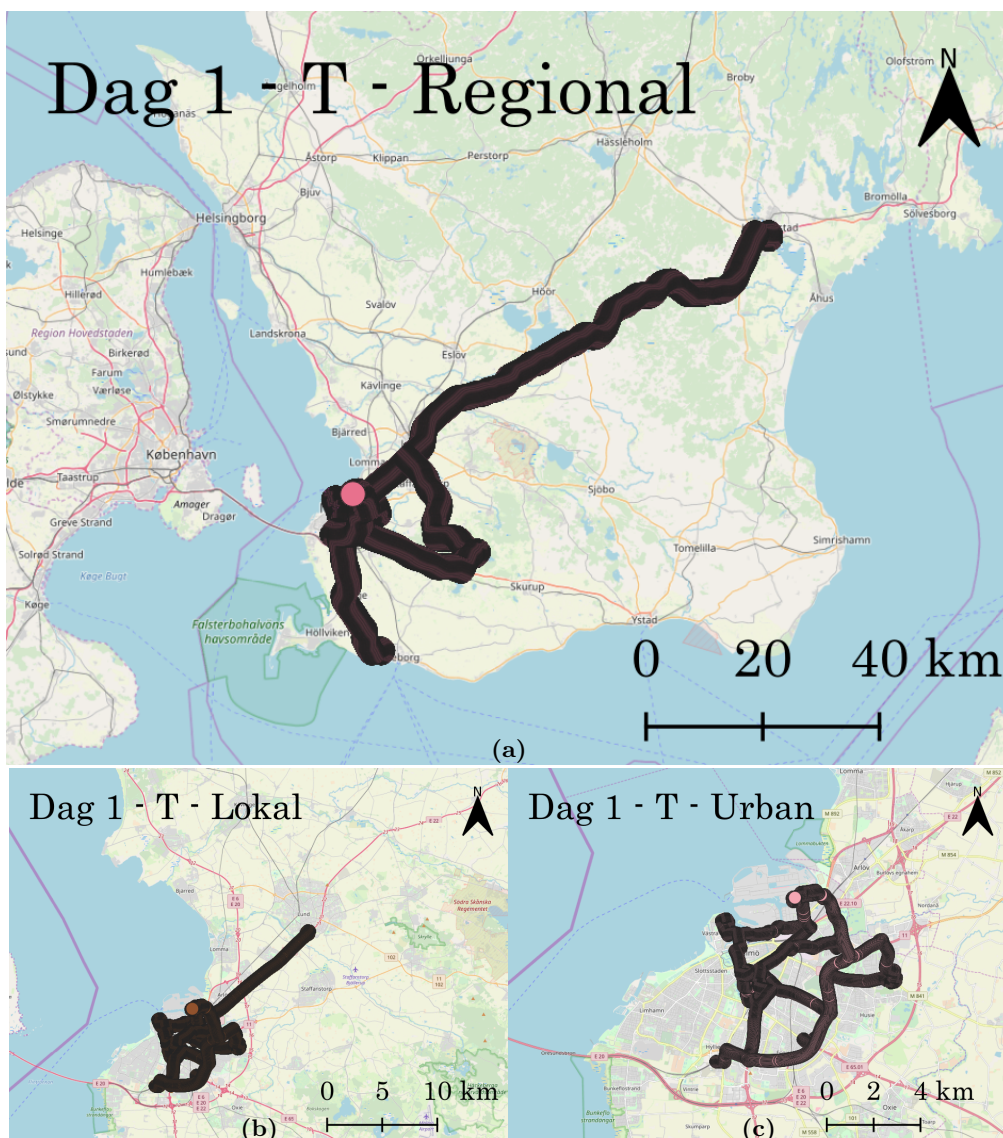
#### Geografisk spridning lastbil T

Denna fallstudie har haft Malmö stad som fokus. I figur 3.6a visas en karta över Malmös placering i Skåne och på denna har koordinaterna för hela dag 1 för lastbil T visualiserats. Koordinaterna är främst placerade

i Malmö men sträcker sig även sträcker över hela Skåne. Detta stödjer den information som framkom i intervjuerna om att lastbilen efter förmiddagspasset i Malmö och Lund främst körde regionala turer över hela Skåne med en hög andel motorvägskörning under eftermiddagen. Av de sex undersökta dagarna gjordes ett regionalt eftermiddagspass på fem av dagarna, under den sjätte dagen förekom inget eftermiddags pass för lastbil T (se figur A.1a-A.1f).

Då intresset för studien var urban trafik var det även intressant att studera förmiddagspasset separat för lastbilen vilket visas i figur 3.6b. Kartan styrker intervjuerna i att det under förmiddagens pass framförallt kördes urban trafik med en lokal tur till närliggande Lund. Samma rutin noteras under de resterande dagarna bortsett från den femte dagen då det under förmiddagspasset utöver morgonens lokala tur kördes en längre lokal tur istället för bara urban trafik (se figur A.2a-A.2f). Att den återkommande lokala turen under förmiddagen ligger just på morgonen blir tydligt när endast förmiddagens senare del från efter frukosten fram till förmiddagsskiftets slut vid 12-tiden visualiseras i figur 3.6c. Detta gäller för alla de 6 undersökta dagarna för lastbil T (se figur A.3a-A.3f).

Att lastbilen gör en andra lokal tur den femte dagen under förmiddagens senare del då det vanligtvis endast körs urban trafik blir tydligt i figur A.3e.



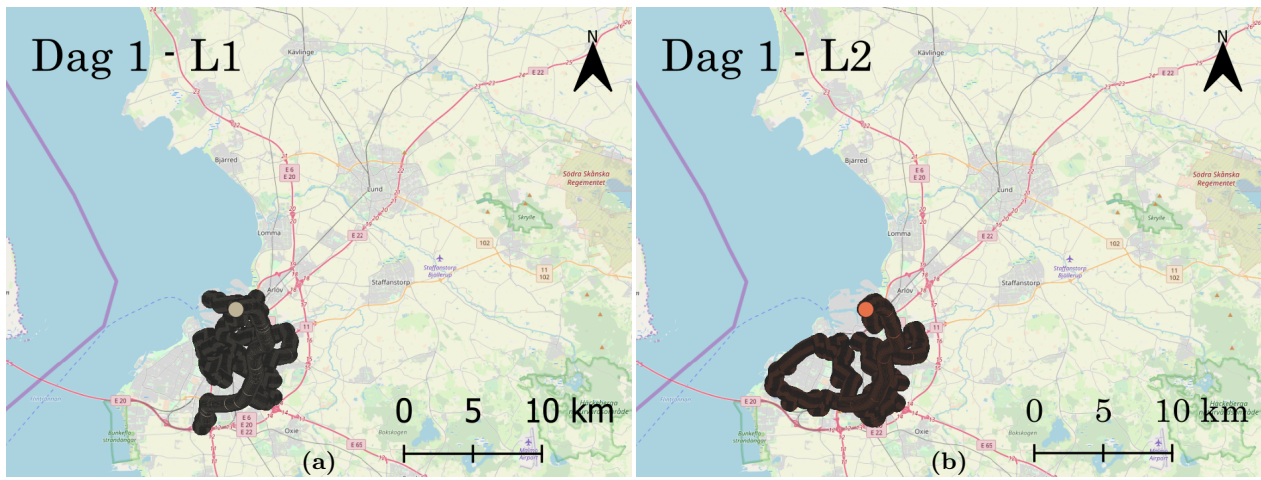
**Figur 3.6:** De insamlade koordinaterna för lastbil T för dag 1 visualiserat på kartor. I (a) syns hur den insamlade datan befinner sig i Skåne med Köpenhamn precis på andra sidan sundet till vänster i bild. Det blev tydligt att under eftermiddagens skift sträckte sig lastbilens rutt över hela Skåne från Malmö i väster till Kristianstad i öster och Trelleborg i söder. I (b) studeras endast förmiddagens skift och även här verifieras intervjuerna då ruten främst sker urbant fast med en morgontur till Lund. I (c) visas endast datan från andra delen av förmiddagspasset efter frukost fram till lunch som här består av urban trafik. Källa: OpenStreetMap, egenproduktion i QGIS.

### Geografisk spridning lastbil L1

Vid visualiseringen av de insamlade koordinaterna från första dagen för lastbil L1 i figur 3.7a blev det tydligt att trafiken för denna dag främst skedde urbant i Malmö stad vilket var i linje med intervjuerna. Samma mönster gällde under de resterande dagarna förutom under den fjärde dagen då det utöver förmiddagens urbana pass även genomfördes ett eftermiddagspass med två lokala turer (se figur A.4a-A.4f).

### Geografisk spridning lastbil L2

Även visualiseringen av koordinaterna från första dagen för lastbil L2 i figur 3.7b styrkte intervjuerna i att de lätta lastbilarna främst används till urban trafik. Under alla de sex undersökta dagarna för denna lastbil skedde all trafik uteslutande urbant inom Malmö stad (se figur A.5a-A.5f). Det framkom i intervjun att rutterna för lastbil L2 innefattade mer trafik i hela Malmö stad jämfört med L1 som främst körde centralt och detta styrkte kartorna.



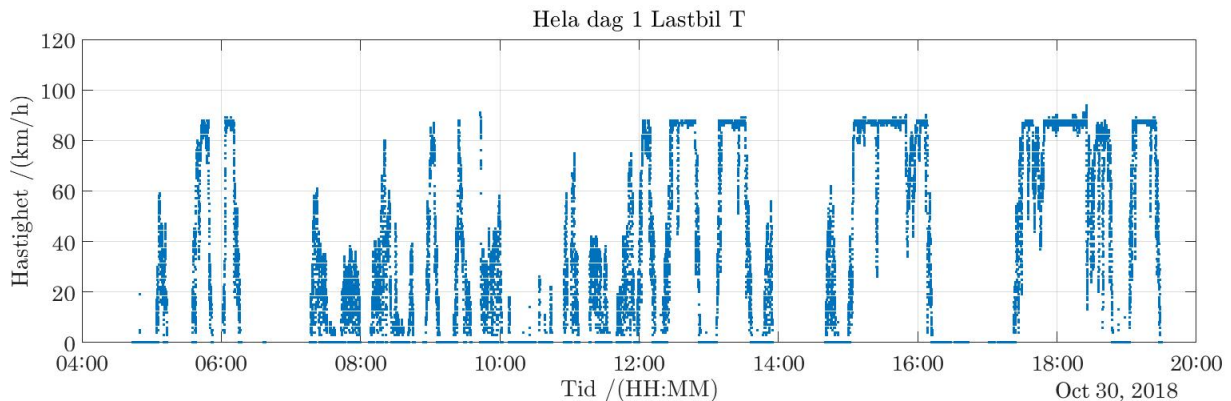
**Figur 3.7:** De insamlade koordinaterna för lastbil L1 (a) och lastbil L2 (b) båda för dag 1 visualiserade på kartor. Alla koordinater för de två lastbilarna hamnade här inom Malmö stad. Detta betyder att det uteslutande genomfördes urban trafik för dessa dagar. Källa: OpenStreetMap, egenproduktion i QGIS.

### 3.5.3 Studie av hastighetsförändringar

Det som skiljer urban, lokal och regional körning åt mest är medelhastighet och olika karakteristik för acceleration och bromsning. GPS-enheterna medgav insamling av datapunkter varje sekund vilket gav en detaljerad bild av hastighetsförändringen vilket möjliggjorde en ännu tydligare förståelse av rutternas karakteristik. Därför kommer hastighetsdatan att studeras i detta avsnitt genom att titta på hastighetsprofilerna. I figur 3.8 - 3.10 görs först en närmare studie av hastighetsprofilen från första dagen för lastbil T. Efter detta studeras hastighetsprofilen från den första dagen för lastbil L1 respektive L2 (se figur 3.11 och 3.12).

#### Hastighetsstudie lastbil T

I detta delavsnitt kommer hastighetsprofilen för första dagen för lastbil T att studeras vilken kan ses i figur 3.8. För denna hastighetsprofil presenteras en närmare studie och tolkning för att ge större förståelse för hastighetsprofilerna. Bredden på staplarna i figur 3.8 visar tid och höjden visar hastighet och utifrån dessa går det tydligt att se att förmiddagen fram till kl. 12 har fler och kortare körning mellan stopp. Denna karakteristik stämmer väl överens med intervjuerna samt kartstudien om att lastbilen vid denna tidpunkt främst kör urban trafik. Tiden för körning mellan stopp för lastbil T är även kortare med en lägre medelhastighet vilket ger en kortare körd sträcka. Efter kl. 12 under eftermiddagens skift blir det tydligt att den regionala trafiken som skedde med mycket motorvägskörning har en helt annan karakteristik med få höga och breda toppar som ger en längre körd sträcka. Denna karakteristik ställer helt andra krav på fordonet än den urbana trafiken. Samma skillnad i karakteristik vid regional, lokal och urban trafik gick att se i hastighetsprofilerna för de resterande dagarna för lastbil T och de stämde väl överens med det som framkom i intervjuerna och kartstudien (se figur A.6-A.11).

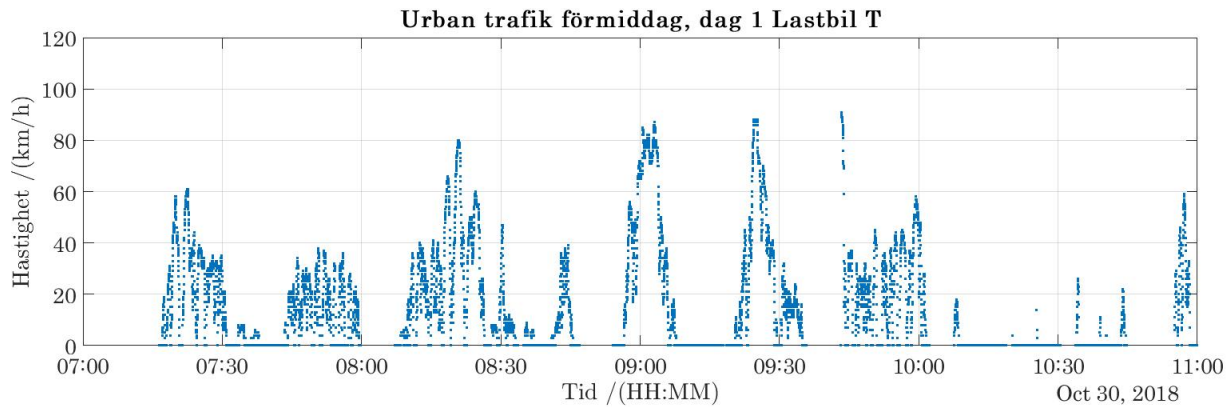


**Figur 3.8:** Visar hastighetsprofil för lastbil T för hela dag 1 kl. 04.00 - 20.00. I figuren kan man se hur hastigheten varierar över dagen från 0 - 90 km/h vilket visar på den hastighetsbegränsning som lastbilar har. På förmiddagen är staplarna smalare vilket betyder kortare tid mellan varje stopp, utöver detta är hastigheterna i snitt lägre vilket ger att den körda sträckan bli kortare. På eftermiddagen däremot är staplarna bredare och hastigheten högre vilket ger en längre körd sträcka mellan stoppen.

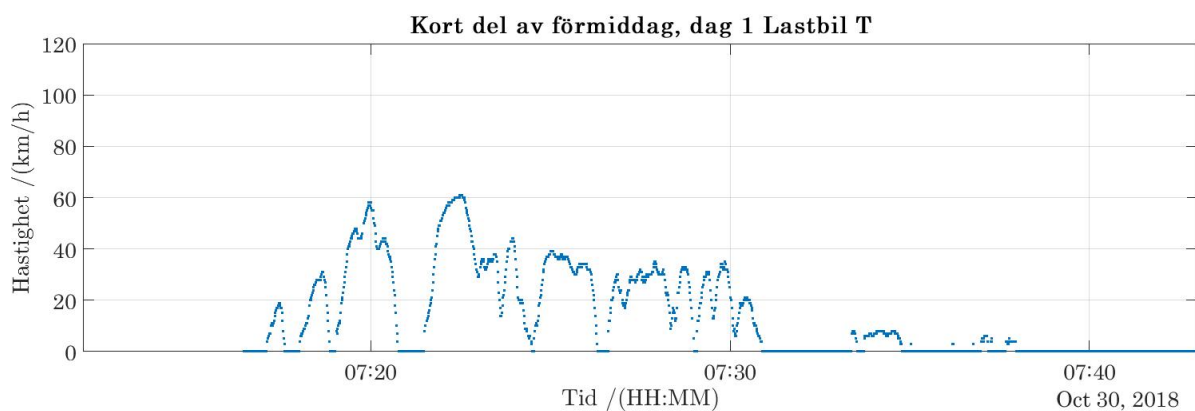
Vid närmare studie av hastighetsprofilen visar de tre tidiga topparna vid kl 06:00 till vänster i figur 3.8 tydligt den morgonturen som beskrevs i intervjuerna bestående av ett stopp i Malmö följt av en lokal tur till Lund och tillbaka. En smalare topp till Malmöstoppet och två bredare toppar för körning till Lund och tillbaka på motorväg. Efter dessa tre toppar sker det ett längre stopp vilket stämmer väl överens med tiden för omlastning och frukost enligt intervjuerna. Efter detta består förmiddagen av många smala toppar med varierande höjd och kort tid mellan stoppen. Denna karakteristik stämmer väl överens med att lastbilen vid denna tidpunkt främst kör i urban trafik enligt intervjuerna. Den varierande höjden beror på de lägre hastighetsbegränsningarna och smalare toppar på att lossningsplatsserna ligger närmare varandra.

I figur 3.9 studeras endast den senare delen av förmiddagen där lastbilen befann sig urbant i Malmö stad. Här går det tydligt att se de korta stoppen mellan körningar.

Det går tydligt att se i figur 3.10 hur den urbana trafiken består av starkt varierande hastigheter där lastbilen accelererar och bromsar fler gånger vilket beror på exempelvis trafikljus.



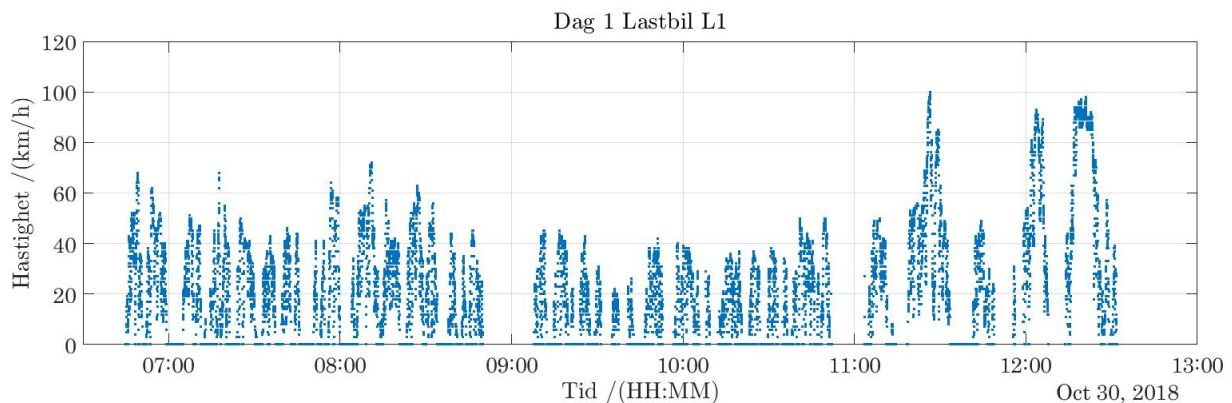
**Figur 3.9:** Visar hastighetsprofilen för utvald del av förmiddagen för lastbil T kl. 07.00-11.00. På denna utvalda del av hastighetsprofilen på den senare delen av förmiddagen syns det tydligt hur den urbana trafiken bestod av flera stopp (dalar) och korta körningar med skiftande men generellt lägre hastigheter (toppar).



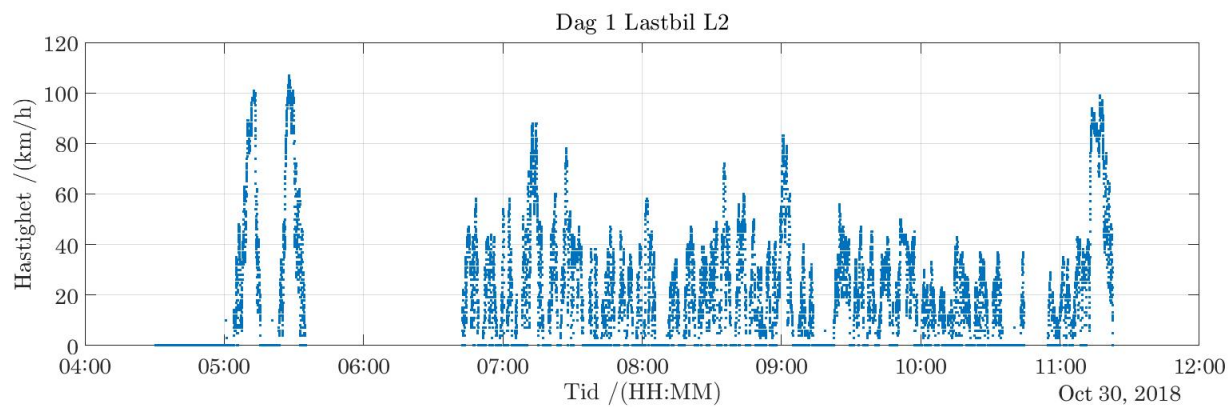
**Figur 3.10:** Visar hastighetsprofilen för utvald del av förmiddagen för lastbil T kl. 07.12-07.40 där endast en av topparna studeras. Detta visar körning från ett stopp till ett annat och det går tydligt att se att lastbilen accelererar och bromsar fler gånger mellan lossningsplatserna.

### Hastighetsstudie lastbil L1 & L2

När det gäller de två lätta lastbilarna L1 och L2 beskrevs det i intervjuerna att dessa främst körde urban trafik inom Malmö med vissa lokala turer utanför staden. Detta stämmer väl överens med hastighetsprofilerna i figur 3.11 och 3.12 som främst består av smala toppar med varierande höjd. De kortare och mer tätliggande topparna ger även fler antal stopp än för lastbil T vilket stämmer väl överens med intervjuerna. När resterande dagar analyserats för de två lastbilarna är karakteristiken väldigt lik med främst urban trafik (se figur A.12-A.23). De lokala turer som kunde ses i kartstudien för någon av dagarna syns även i hastighetsprofilerna. Att lastbil L2 påbörjar dagen innan L1 med en morgontur går också tydligt att se i profilerna för L2 under alla dagarna.



**Figur 3.11:** Hastighetsprofil för första dagen för lastbil L1



**Figur 3.12:** Hastighetsprofil för första dagen lastbil L2. Till vänster i figuren syns tydligt det extra morgonpass som lastbil L2 kör jämfört med lastbil L1.



## 4 Beräkning av energiförbrukning

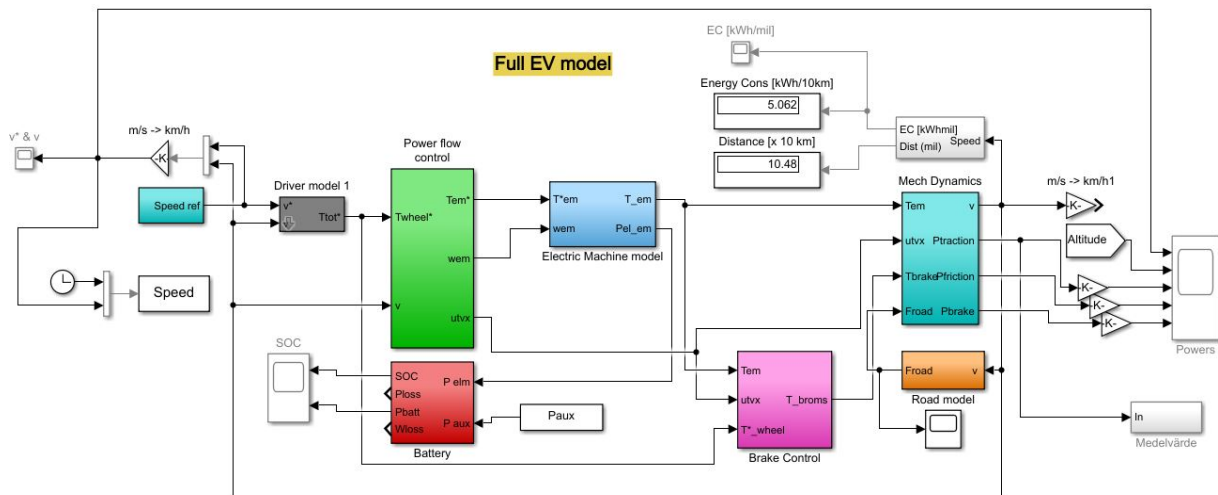
I föregående kapitel presenterades de rutter som lastbilarna genomförde under de undersökta dagarna. För att få en uppfattning om energiförbrukningen för en batterielektrisk lastbil under dessa förhållanden har en modell legat till grund för simuleringen. Detta kapitel kommer därför att behandla:

- i avsnitt 4.1 presenteras modellen för beräkning av energiförbrukning.
- i avsnitt 4.2 diskuteras valet av parametrar.

### 4.1 Beskrivning av modell

För att uppskatta energiförbrukningen för de undersökta lastbilarna i ett fall där de byts ut mot batterielektriska lastbilar har en modell använts. Denna modellerar ett elektriskt fordon med hjälp av beräkningsprogrammet MATLAB Simulink (MathWorks®). Modellen är utvecklad på avdelningen för Industriell elektroteknik och automation vid Lunds Tekniska Högskola av Mats Alaküla för användning i kursen *El- & hybridfordonsteknik, EIEN41*. I detta arbete har även kurskompendiet för denna kurs tagits till hjälp, *Hybrid Drive Systems for Vehicles - Part 1: System Design and Traction Concepts* (Alaküla, 2018).

Modellen består av olika block och kan ses i sin helhet i figur 4.1. Varje block utför olika beräkningar som kommer beskrivas nedan för att skapa en förståelse för hur modellen fungerar. Som indata till modellen används den insamlade hastighetsdatan som hastighetsreferens samt parametrar kopplade till fordonet och dess omgivning.



**Figur 4.1:** Visar en övergripande bild av den Simulinkmodell som använts vid modellering av energiförbrukningen för de elektriska lastbilarna. De färglagda blocken innehåller olika beräkningar som presenteras nedan.

I första steget matas hastighetsreferensen, *Speed ref* in till förarmodellen, *Driver model* (Grått block) vilken är en PI-regulator som jämför referenshastighet och aktuell hastighet och bestämmer det vridmoment på hjulen som behövs för att det modellerade fordonet ska följa hastighetsreferensen (Alaküla, 2018, 28).

I ekvation 4.1 är den första termen P-regulatorn och den andra termen I-regulatorn vilket ger den önskade kraften  $F_{fordon}^*$ . variabeln  $v^*$  är den önskade hastigheten och  $v$  den hastighet som det modellerade fordonet för tillfället innehar,  $K$  är regulatorns förstärkning. Den önskade kraften tillsammans med hjulradien,  $r_W$  i ekvation 4.2 ger vridmomentet som krävs.

$$F_{fordon}^* = K((v^* - v) + \frac{1}{sT_i}(v^* - v)) \quad (4.1)$$

$$T_{hjul}^* = F_{fordon}^* * r_W \quad (4.2)$$

Hastigheten,  $v$  samt önskat vridmomentet,  $T_{hjul}^*$  på hjulen används sedan i kraftflödeskontrollen, *Power Flow Control* (Grönt block) samt bromskontrollen, *Brake Control* (Lila block). I kraftflödeskontrollen, används de för att beräkna vilken effekt hjulen kräver och väljer motorns vridmoment samt varvtalet därefter för att uppnå den optimala arbetspunkten, utöver detta väljs även växeln.

Vridmomentet och varvtalet för den optimala arbetspunkten matas sedan in till modellen för den elektriska motorn, *Electric Machine Model* (Blått block) som beräknar den effekt som den elektriska motorn kräver.

För att få den totala effekten som krävs för att driva lastbilen adderas även effekten för hjälpkraft,  $P_{aux}$  vilket är effekten som krävs för att driva de resterande systemen utöver motorn såsom lampor och radio. Tillsammans med de förluster som sker vid in- och urladdning beräknas sedan hur energimängden i batteriet, *Battery* (Rött block) förändras vilket beskrivs med hur stor mängd av batterikapaciteten som är uppladdad, så kallad State-of-Charge, SoC. I modellen inkluderas även regenerativ bromsning vilket betyder att batteriet laddas upp med bromsenergi.

I denna modell påverkar inte valet av batterikapacitet fordonets totalvikt utan den beror endast av det angivna värdet för totalvikten,  $M_v$ .

Modellfordonets framdrift motverkas av luftmotstånd (ekvation 4.3) och rullmotstånd (ekvation 4.4) (Orangea blocket). Luftmotståndet beror av luftens resistans,  $C_d$ , luftens densitet,  $\rho_{luft}$ , fordonets frontarea,  $A_v$  och fordonets hastighet,  $v$  i kvadrat (Alaküla, 2018, 4). Rullmotståndet beror av rullmotstånds koefficienten,  $C_r$ , fordonets totalvikt,  $M_v$  och gravitationen,  $g$ . Summan av luftmotståndet och rullmotståndet ger den totala kraft som fordonet behöver övervinna för att röra sig framåt,  $F_{tot}$  (ekvation 4.5).

$$Luftmotstånd, F_d = C_d * \rho_{luft} * A_v * v^2 \quad (4.3)$$

$$Rullmotstånd, F_r = C_r * M_v * g \quad (4.4)$$

$$F_{tot} = F_d + F_r \quad (4.5)$$

I modellen fanns möjlighet att ta hänsyn till höjdskillnader. Men beroende på att den insamlade altitudattan inte ansågs ha tillräckligt god kvalitet har inte denna möjlighet utnyttjats.

Kraften  $F_{tot}$  leder till ett bromsande vridmoment och summeras med framdrivningens vridmoment på hjulet för att i *Mech Dynamics* ge det resulterande vridmomentet och kraften (Turkost block). Dividerat med vikten på fordonet ges accelerationen som integreras för att ge hastigheten, i modellen integreras hastigheten för att få fram distansen. Summeringen av energiförbrukningen i varje sekund ger den totala energiförbrukningen för respektive dag.

## 4.2 Parametrar

Utöver körstatistik behöver även en del parametrar ansättas i modellen, en uppsättning för de två lätta lastbilarna och en uppsättning för den tunga lastbilen. De valda uppsättningarna av parametrar för de respektive typerna av fordon är sammanställda i 4.1 och motiveras i avsnitten nedan.

**Tabell 4.1:** Innehåller de valda parametrarna till modellen för de två typerna av studerade lastbilar. Dessa försöker efterlikna de studerade diesellastbilarna och hur valen gjordes kommer att presenteras efter tabellen.

Parameter	Fordonstyp 1, tung lastbil	Fordonstyp 2, lätt lastbil
Batteristorlek, $W_{\text{batt}}$	300 kWh	76 kWh
Fordonsvikt, $M_v$	16 000 kg	3500 kg
Hjulradie, $r_w$	0,50 m	0,37 m
Luftmotståndskoefficient, $C_d$	0,8	0,8
Rullmotståndskoefficient, $C_r$	0,008	0,008
Frontarea, $A_v$	$2,55 \cdot 3,8 = 9,69 \text{ m}^2$	$2,95 \cdot 2,15 = 6,34 \text{ m}^2$
Maxhastighet, $V_{\text{max}}$	150 km/h	150 km/h
Max motoreffekt, $P_{\text{em,max}}$	200 kW	120 kW
Antal växlar	2	2
Tid för växling	2 s	2 s
Auxiliär effekt, $P_{\text{aux}}$	3000 W	2000 W

### 4.2.1 Batteristorlek

Efter att ha studerat de fordon som ingår i fallstudien och de krav som ställs på dessa har en batteristorlek valts för respektive modellerat elektriskt fordon för att ge en bättre förståelse för de presenterade resultaten. Utifrån de elektriska lastbilar som presenterades i kapitel 2 har batteristorlekarna 76 kWh och 300 kWh valts att studeras närmare för de lätta respektive den tunga lastbilen.

### 4.2.2 Fordonsvikt

En lätt lastbil får enligt lag maximalt ha en totalvikt på 3,5 ton. Enligt åkeriet är dessa oftast väl lastade och för att ha marginal har vikten på lastbilen inklusive förare och last valts till 3,5 ton för alla beräkningar med detta fordon. Viktgränsen för den tunga lastbil som studerats är 18 ton. Enligt intervjuerna med åkeriet skiftar fyllnadsgraden mer för denna lastbil då den i många fall kör det gods som inte får plats i de lätta lastbilarna. I de fall lastbilen är fylld skiftar det mellan att det antingen är den maximala volymen eller maximala totalvikten som nådd. Utifrån detta sattes totalvikten för fordonet inklusive förare och last till 16 ton för alla beräkningar med detta fordon vilket i genomsnitt borde överskatta den lastade vikten.

### 4.2.3 Hjulradie och frontarea

Måtten för hjulradie och frontarean på de lätta respektive den tunga lastbilen är uppmätta på de studerade fordonen. För Peugeot Boxer uppmättes hjulradien till 0,37 m, höjden på lastbilen till 2,95 m och bredden till 2,15 m. För Mercedes-Benz Antos uppmättes hjulradien till 0,5 m, höjden till 3,8 och bredden till 2,55 m.

### 4.2.4 Luftmotståndskoefficient

Beroende på hur strömlinjeformat ett fordon är har de olika stor luftmotståndskoefficient,  $C_d$  där ett högre värde betyder att fordonet har ett högre luftmotstånd att övervinna än ett med mindre koefficient. Angivet i den använda lastbilmodellen fanns exempel på luftmotståndskoefficienter för olika sorters fordon. Där angavs sportbil till 0,3-0,4; personbil 0,4-0,5; Pick-up truck 0,5; Tung lastbil med luftmotståndsminskande plåt till 0,6-0,7; Tung lastbil 0,7-0,9, i modellen anges tyvärr ingen källa för dessa värden. I Bosch automotive handbook third ed. (1993) presenteras en tabell med värden för olika bilmodeller där en cabriolet var den modell med högst värde på 0,5-0,7. Utifrån denna uppgifter sattes koefficienten för båda lastbilarna till 0,8. Med hänsyn till osäkerheten i valet av denna parameter ingår den i känslighetsanalysen där ytterligheterna  $C_d = 0,6$  och  $C_d = 0,9$  kommer undersökas.

#### 4.2.5 Rullmotståndskoefficient

Rullmotståndskoefficienten,  $C_r$  är beroende av exempelvis vilket typ av material fordonets däck består av, hur väl pumpat däck är och hur stor friktion vägbanan har. Ett större värde ger större motstånd att övervinna för fordonet. I modellen angavs  $C_r = 0,006-0,008$  för däck med lågt rullmotstånd och  $C_r = 0,01-0,015$  för vanliga däck. Bosch automotive handboken (1993) anger  $C_r = 0,006-0,01$  för lastbilsdäck på betong och asfalt. Utifrån denna information valdes det nominella värdet av  $C_r$  till 0,008. Med hänsyn till osäkerheten i valet av denna parameter ingår den i känslighetsanalysen där ytterligheterna  $C_r = 0,006$  och  $C_r = 0,01$  kommer undersökas.

#### 4.2.6 Hjälpkraft

Utöver att förbruka energi för att driva fordonet framåt går det åt energi för att driva de interna systemen i lastbilen som lampor, stereo, servo m.m. För storleken på denna hjälpkraft,  $P_{AUX}$  fanns inget spann givet i modellen men startvärdena angivna i modellen var 1000 W för en personbil, 2000-4000 W för bussar och 3000 W för långtradare. I Bosch automotive handboken 3rd ed. (1993) anges flera elektriska system i en personbil som summerat uppgår till en installerad effekt av 1145 W. I dessa värden inkluderas inte luftkonditionering och detsamma gäller de beräkningar som genomförs med lastbilsmodellen i denna fallstudie. För modelleringen sattes det nominella värdet för  $P_{AUX}$  till 2000 W för den tunga lastbilen och 2000 W för de lätta lastbilarna. För att få en uppfattning om hur osäkerheten kunde påverka resultatet valdes värden för känslighetsanalysen till 1500 W och 4000 W. Under arbetets gång blev det klart att luftkonditionering för kylning och uppvärmning kan ha en effektförbrukning som högre än den för de elektriska komponenterna i ett fordon. I detta arbete genomfördes ingen bredare studie av vilken påverkan detta kunde ha på den resulterande energiförbrukningen. Men för att erbjuda en viss förståelse för i vilken storleksordning denna parameter skulle kunna påverka den resulterande energiförbrukningen om luftkonditionering togs med i beräkningarna utökades känslighetsanalysen till att även inkludera de nominella värdena 5000 W, 6000 W och 10 000 W. Känslighetsanalysen för hjälpkraften  $P_{AUX}$  utökades även till att utöver fallet med hela dag 1 för Lastbil T även studera endast förmiddagspasset för denna hela dag samt första dagen för lastbil L1.

#### 4.2.7 Maxhastighet och motoreffekt

För den modell av Peugeot Boxer som undersökts är maxhastigheten 150 km/h och den maximala motoreffekten 120 kW (Peugeot professional, 2017). För den undersökta Mercedes-Benz Antos är även här maxhastigheten 150 km/h men den maximala motoreffekten 160 kW (Mercedes-Benz, 2012)

#### 4.2.8 Växling

Antalet växlar för de två lastbilarna har sattes till 2 st och tiden för växling till 2 sekunder.

## 5 Resultat

De insamlade GPS-koordinaterna och hastigheterna tillsammans med intervjuer och observationsstudie har gett en bättre förståelse för hur en normal dag vanligtvis ser ut för det undersökta åkeriets lastbilar.

Med hjälp av simuleringarna resulterade denna information i att energiförbrukningen kunde uppskattas för varje undersökt dag och olika laddningsexempel genomföras. Detta presenteras i avsnitt 5.1.

Efter detta presenteras känslighetsanalysen i avsnitt 5.2

### 5.1 Energiförbrukning och laddningsexempel

I detta avsnitt presenteras först den uppskattade energiförbrukningen för respektive dag och lastbil i avsnitt 5.1.1. Efter detta presenteras laddningsexempel för vissa valda dagar i avsnitt 5.1.2.

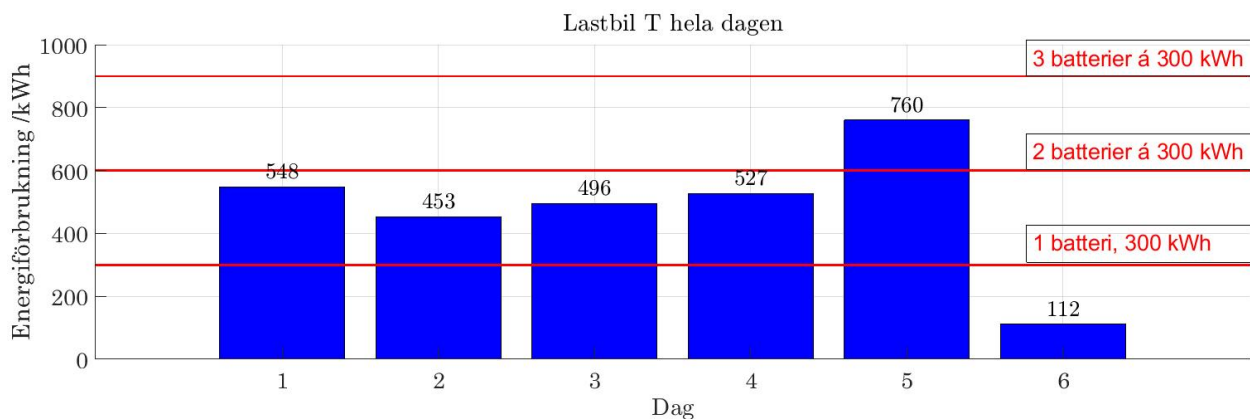
#### 5.1.1 Energiförbrukning

Med modellen och den insamlade datan uppskattades energiförbrukningen i kilowattimmar, kWh, för de studerade dagarna för respektive lastbil. I figurerna 5.1 - 5.5 nedan presenteras utöver energiförbrukningen även batterikapaciteten på ett exempelbatteri med en röd linje.

Som lyftes i kaptitel 2.3 är inte den totala batterikapaciteten direkt jämförbar med den tillgängliga batterikapaciteten vid drift, då djupa användningscykler sliter extra på batteriet avråds detta från vid normaldrift. Därför presenteras i de fyra senare figurerna även linjer som representerar att 90 % respektive 70 % av batterikapaciteten utnyttjas.

#### Energiförbrukning lastbil T

För den tunga lastbilen T överstiger energiförbrukningen batterikapaciteten för ett exempelbatteri under de första fem dagarna (se figur 5.1). Under dessa dagar gör lastbilen under eftermiddagspasset regionala turer tvärs över Skåne (se figur A.1a-A.1e) och sträckan varierar mellan 34 och 57 mil (se tabell 3.4). Under dag 6 genomfördes endast förmiddagspasset som ej innehöll regional trafik (se figur A.1f). Denna dag var sträckan endast 8,6 mil och energiförbrukningen blev väl under kapaciteten för exempelbatteriet. När det gäller den genomsnittliga energiförbrukningen för veckan gällande detta fall uppgick den till 13,3 kWh/10 km.



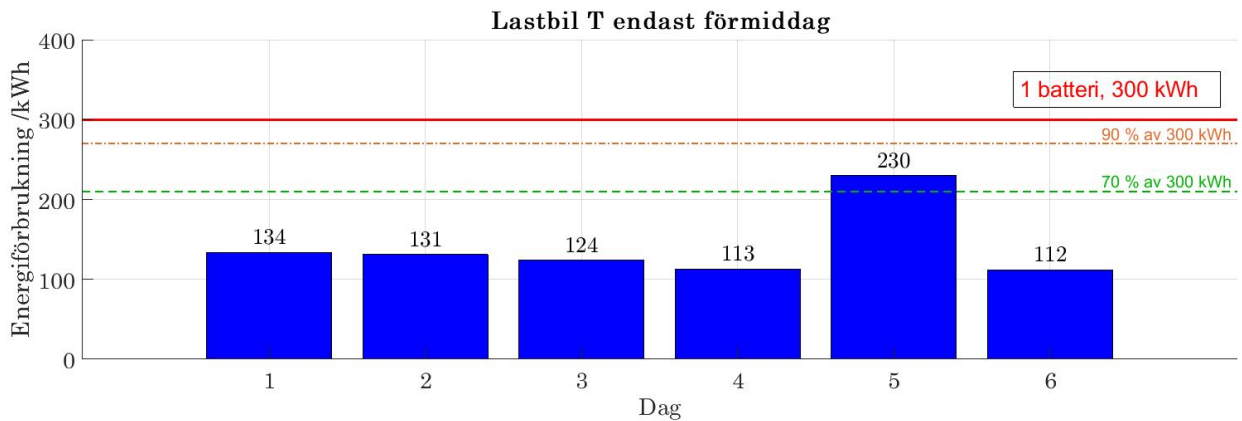
**Figur 5.1:** Visar den modellerade energikonsumtionen i kilowattimmar för lastbil T baserat på insamlad data för dagens båda skift för respektive dag, under dag 6 kördes dock endast ett förmiddagspass. Under dag 1-4 förbrukas energi nära två gånger exempelbatteriet och under dag 5 ca 2,5 exempelbatterier. Endast under dag 6 är energiförbrukningen väl under kapaciteten för exempelbatteriet.

Då lastbil T under förmiddagspasset körde urban trafik med vissa lokala turer studerades detta skift separat då det var intressant för studiens frågeställning gällande urban och lokal trafik. För denna simulering blev energiförbrukningen väl inom 70 % spannet av batterikapacitetenn för alla de sex dagarna (se figur 5.2). Det som skiljde sig för dag 5 var att det utöver morgonens lokala tur utanför staden även kördes en andra lokal tur utanför staden istället för bara urban körning. Det gjorde att under femte dagen var energiförbrukningen

högre och strax utanför 70 % intervallet med lite högre slitage som följd men fortfarande inom den tillgängliga kapaciteten.

Detta visade att vid en lokal rutt utöver urban trafik under ett pass hamnade energiförbrukningen inom batterikapacitet. Även då en extra lite längre lokal rutt lades till räckte batterikapaciteten till.

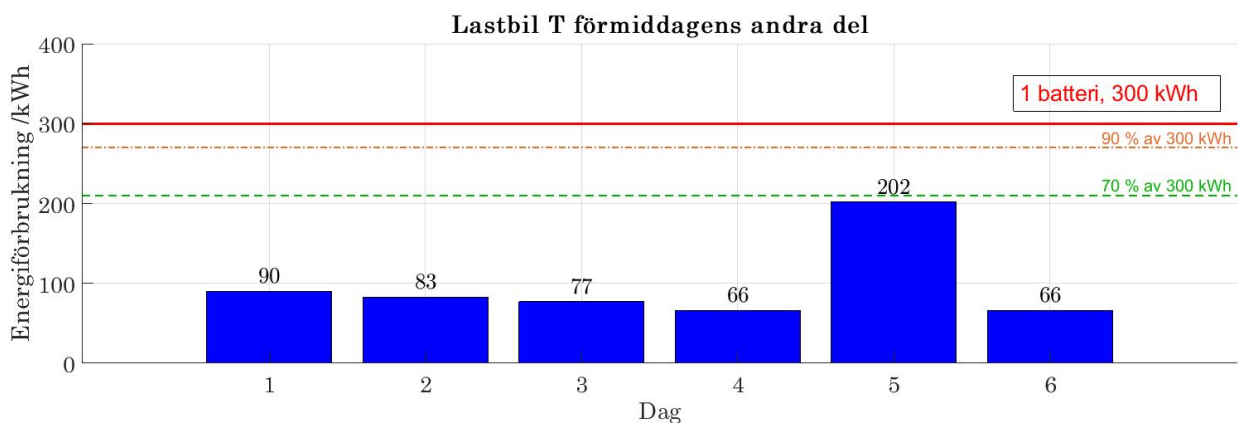
När det gäller den genomsnittliga energiförbrukningen för veckan gällande detta fall uppgick den till 13,0 kWh/10 km.



**Figur 5.2:** Visar den modellerade energikonsumtionen i kilowattimmar för lastbil T baserat på insamlad data för förmiddagens skift för respektive dag. Under dag 5 förbrukas mer än de andra dagarna men fortfarande väl inom exempelbatteriets kapacitet. Resterande dagar förbrukar mindre energi än hälften av exempelbatteriets kapacitet.

Under eftermiddagens senare del efter frukost fram till skiftets slut vid lunch genomfördes oftast uteslutande urban trafik. Därför studerades även detta fall för att se hur mycket den lokala morgonturen påverkade energiförbrukningen. För de fem dagar som endast innehöll urban trafik (se figur A.3a-A.3d och A.3f) låg energiförbrukningen väl inom 70 % av exempelbatteriets kapacitet vilket kan ses i figur 5.3. Under dessa dagar körde lastbilen en sträcka som varierade mellan 4,9 till 7 mil (se tabell 3.4). Under den femte dagen hamnade energiförbrukningen strax inom 70 % intervallet. Anledningen till den högre totala energiförbrukningen berodde på att passet innehöll en lokal tur utanför Malmö stad utöver den urbana trafiken (se figur A.3e) vilket gjorde att den totala sträckan uppgick till 15,1 km. Detta fall kommer studeras närmare i laddningsexemplena i avsnitt 5.1.2.

När det gäller den genomsnittliga energiförbrukningen för veckan gällande detta fall uppgick den till 12,8 kWh/10 km.

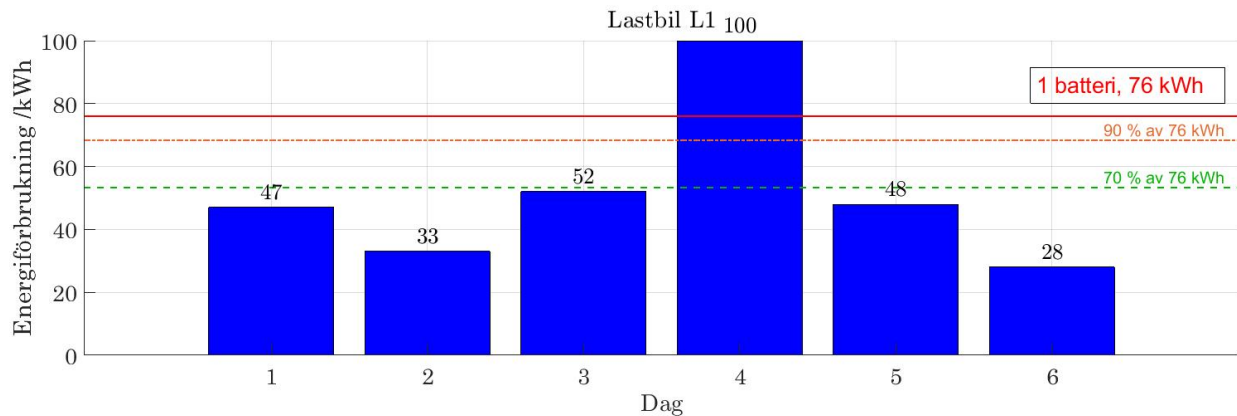


**Figur 5.3:** Visar den modellerade energikonsumtionen i kilowattimmar för lastbil T baserat på insamlad data för andra delen av förmiddagens pass från frukost fram till skiftets slut. För dag 5 innehåller detta pass utöver urban trafik en lokal tur vilket gav en högre energiförbrukning, dock fortfarande inom exempelbatteriets kapacitet. De resterande dagarna innehöll endast urban trafik och då modellerades energiförbrukning till väl under batterikapaciteten. Den mittersta linjen (orange) visar den tillgängliga batterikapaciteten då 90 % av batteriet utnyttjas och den undre (gröna) den tillgängliga kapaciteten när endast 70 % utnyttjas.

## Energiförbrukningen för lastbil L1

När energiförbrukningen för den lätta lastbilen L1 modellerades översteg energiförbrukningen under dag 4 exempelbatteriets kapacitet med 24 kWh. Under denna dag genomförde lastbilen utöver ett urbant förmiddagspass även ett eftermiddagspass med två lokala turer (se figur A.4d) vilket gav den högre energiförbrukningen. Dessa gav dagen en totalsträcka på 17,2 mil (se tabell 3.4). För de resterande fem dagarna blev energiförbrukningen inom eller väl inom 70 % spannet av batterikapaciteten. Dessa dagar körde lastbilen endast förmiddagspass i urban trafik (se figur A.4a-A.4c och A.4e-A.4f) med distanser på mellan 5 till 9,7 mil.

När det gäller den genomsnittliga energiförbrukningen för veckan gällande för lastbil L1 uppgick den till 5,6 kWh/10 km.

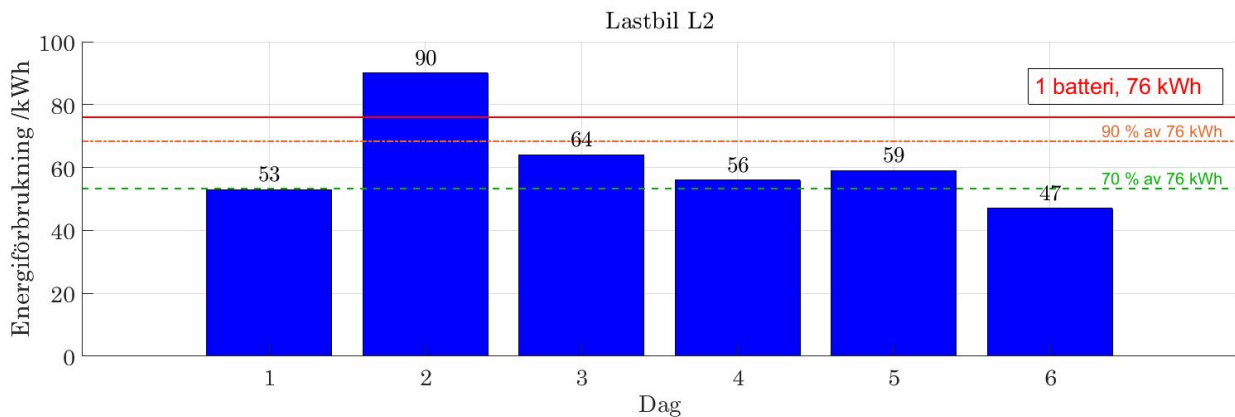


**Figur 5.4:** Visar den modellerade energikonsumtionen i kilowattimmar för lastbil L1 baserat på insamlad data för respektive dags rutt. Under de fem dagar då lastbilen endast genomföre urban trafik under ett förmiddagspass är förbrukning väl under exempelbatteriets kapacitet. Förbrukningen för dag 4 däremot överstiger väl batterikapaciteten då det utöver det urbana förmiddagspasset även körs ett eftermiddagspass med två lokala turer. Den mittersta linjen (orange) visar den tillgängliga batterikapaciteten då 90 % av batteriet utnyttjas och den undre (gröna) den tillgängliga kapaciteten när endast 70 % utnyttjas.

## Energiförbrukningen för lastbil L2

Energiförbrukningen som modellerades för lastbil L2 översteg för dag 2 exempelbatteriets kapacitet (se figur 5.5) och lastbilen klarade därmed inte av att genomföra hela denna dag utan laddning under dagen. Den högre energiförbrukningen berodde på att lastbilen under denna dag genomförde både ett urbant förmiddagsskift och ett urbant eftermiddagsskift (se figur A.5b) vilket resulterade i att den körda sträckan uppgick till 18,4 mil (se tabell 3.4). Under de resterande dagarna genomfördes endast ett urbant förmiddagsspass och då blev energiförbrukningen lägre än den totala batterikapaciteten, dock översteg den oftast 70 % spannet men stannade inom 90 % spannet. Därmed blir slitaget på batteriet lite högre än för lastbil L1. Under dessa fem dagar varierade den körda sträckan från 9 till 13,7 mil.

När det gäller den genomsnittliga energiförbrukningen för veckan gällande för lastbil L1 uppgick den till 5,6 kWh/10 km.



**Figur 5.5:** Visar den modellerade energikonsumtionen i kilowattimmar för lastbil L2 baserat på insamlad data för respektive dags rutt. Under dag 2 överstiger energiförbrukningen exempelbatteriets kapacitet med 14 kWh. Detta beror på att det under dagen genomfördes både ett urbant förmiddagsspass och ett urbant eftermiddagsspass. Detta fall kommer studeras närmare i laddningsexemplena i avsnitt 5.1.2. För de resterande dagarna genomfördes endast ett urbant förmiddagsspass och då blev energiförbrukningen lägre än batterikapaciteten, dock inte med stor marginal under dag 3-5. Den mittersta linjen (orange) visar den tillgängliga batterikapaciteten då 90 % av batteriet utnyttjas och den undre (gröna) den tillgängliga kapaciteten när endast 70 % utnyttjas.



### 5.1.2 Laddningsexempel

I detta avsnitt genomfördes fyra närmare analyser av energiförbrukningen och batterikapaciteten för att se hur resultaten kunde påverkas om det togs hänsyn till laddning. Energiförbrukningen presenteras här mer detaljerat för att kunna tyda dess variation över tid och hur energiinnehållet i lastbilens batteri förändras.

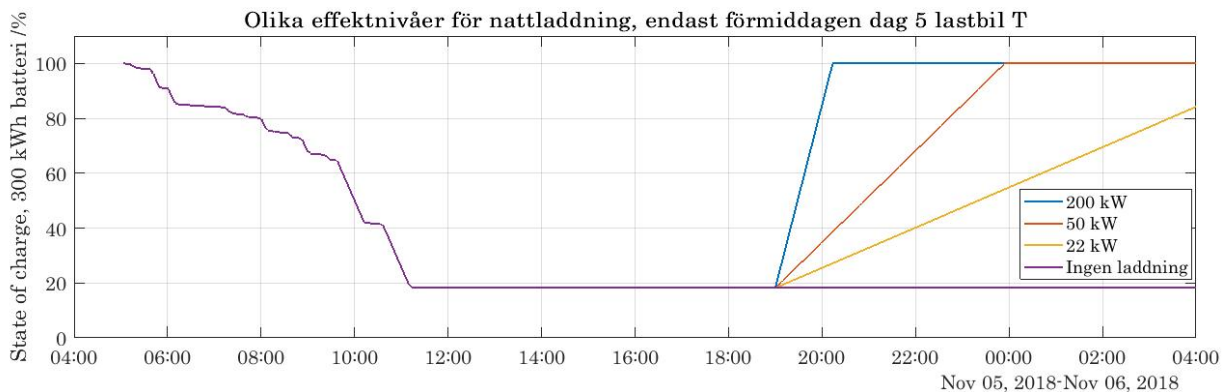
Fokuset för denna studie har varit på den urbana lastbilstrafiken och därför studerades inte energiförbrukningen för de regionala turer som inkluderades i heldagsdatan för lastbil T närmare ur ett laddningsperspektiv.

#### Nattladdning 300 kWh batteri

När det gällde endast förmiddagsturen för lastbil T studerades dag 5 närmare då det var den dag med högst energiförbrukning. Lastbilen klarade av att köra den studerade rutten utan att behöva ladda batteriet under skiftet. Men för att klara detta pass även nästa dag behöver batteriet laddas upp efter dagens slut. Då lastbilens dag i verkligheten bestod av två skift påbörjades laddningen i exemplet först vid kl 19.00.

Om laddning endast skedde i depå efter kl 19.00 och ingen laddning skedde under skiftet då krävdes det mer än 22 kW laddning för att fulladda batteriet innan nästa dag. Om laddningen hade startat tidigare hade en laddeffekt på 22 kW räckt. Desto högre laddeffekt desto kortare laddningstid behövdes.

Den studerade rutten innehöll en längre lokal tur med majoritet motorvägskörning vid 90 km/h. Detta går tydligt att se på den skarpa lutning som skedde vid kl 10 och kl 11 då förbrukningen är som högst främst på grund av den längre sträcka som körts. Samma lutning går att hitta vid kl 6 då den lokala morgonturen utanför Malmö stad skedde fram och tillbaka. Mellan detta skedde körning urbant i Malmö,

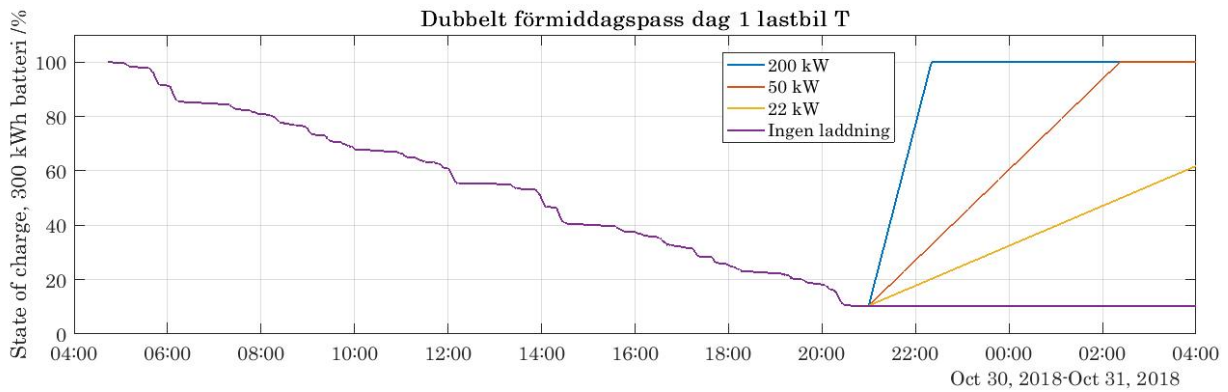


**Figur 5.6:** Visar förändringen av energinivån under dagen för Lastbil T dag 5 om bara förmiddagsskiftet studeras. Detta var det förmiddagspass med högst energiförbrukning. Den lila linjen visar hur energimängden i lastbilens batteri avtar när lastbilen kör sin rutt uttryckt i procent av energikapaciteten, 300 kWh. Vid elvatiden är skiftet slut och lastbilen stängs av. kl. 19.00 påbörjas nattladdningen av lastbilen inför nästa dags skift som påbörjas vid ca 04.30. De tre olika effektnivåerna 22 kW, 50 kW och 200 kW studerades. Med laddning vid 22 kW hann lastbilens batteri ej laddas upp helt inför nästa dags skift. När effekten var runt 50 kW eller högre så hann batteriet fulladdas inför nästa dag. Om laddningen påbörjades tidigare skulle fulladdning kunna nås med 22 kW.

#### Dubbelt förmiddagspass lastbil T

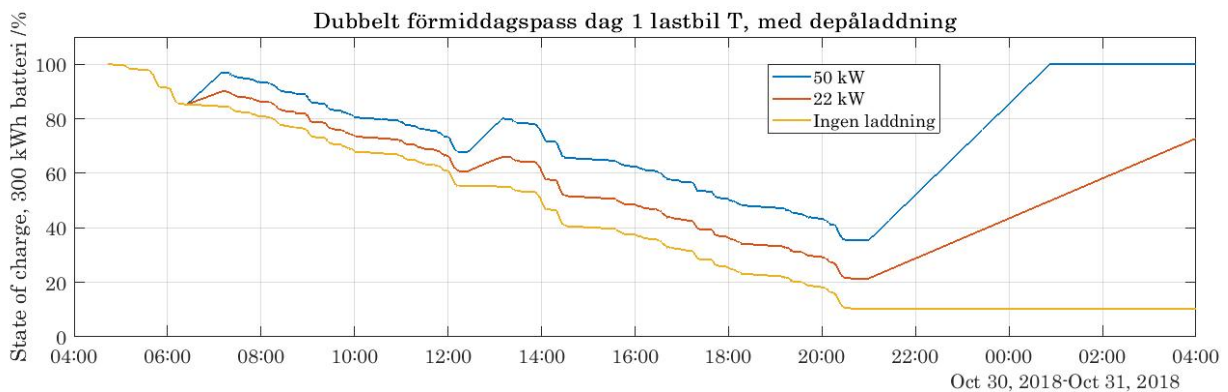
Den femte dagen för lastbil T var på gränsen mellan urban och regional trafik. För att undersöka ett fall som låg närmare urban trafik studerades ytterligare ett fall, då valdes det förmiddagspass med högst energiförbrukning bland de återstående fem dagarna, alltså dag 1. Detta innehöll endast en lokal morgontur följt av urban trafik. Att endast studera ett förmiddagspass gav inte hela bilden av de krav som ställdes på lastbil T som fem av de sex undersökta dagarna genomförde två skift. Därför skapades ett fiktivt fall genom att köra förmiddagspasset två gånger under dagen, alltså även på eftermiddagen. Detta resulterade i en lokal morgontur följt av urban trafik och efter lunch ännu en likadan lokal tur följt av urban trafik.

Lastbilen klarade att ta sig igenom de två skiften utan laddning även om energiinnehållet nådde låga nivåer (se figur 5.7). Med två skift kunde inte nattladdningen efter skiftets slut påbörjas förrän senare på kvällen vilket krävde att laddeffekten behövde vara minst 50 kW om laddningen skulle nå 100 procent innan nästa dags skift påbörjades.



**Figur 5.7:** Visar förändringen av energinivån under dagen för Lastbil T dag 1 om förmiddagsskiftet körs två gånger efter varandra. Detta var det vanliga förmiddagspass med urban körning och endast en lokal tur utanför Malmö stad som hade högst energiförbrukning. Den lila linjen visar hur energimängden i lastbilens batteri avtar när lastbilen kör sin rutt uttryckt i procent av energikapaciteten, 300 kWh. De resterande linjerna visar hur energiinnehållet förändras när nattladdning sker vid tre olika laddeffekter.

Det fanns dock potential till laddning under de tider lastbilen ändå befann sig i depån vilket möjliggjorde bättre resultat utan att kräva ändrade körmönster. Om laddning under skiftet sker i depån i 45 min under frukosten samt 45 min mellan skiftet kring lunch fås de två extra kurvorna i figur 5.8 beroende på vilken laddeffekt som används. Då utnyttjas en mindre del av batteriets totala batterikapacitet samt att laddtiden under natten minskas något. Med 50 kW laddning ger detta ett tillskott på ca 75 kWh. Med snabbaddning vid 200 kW skulle samma energimängd kunna uppnås på ca 23 minuter. Det skulle dock kunna kräva att körmönstret ändras.

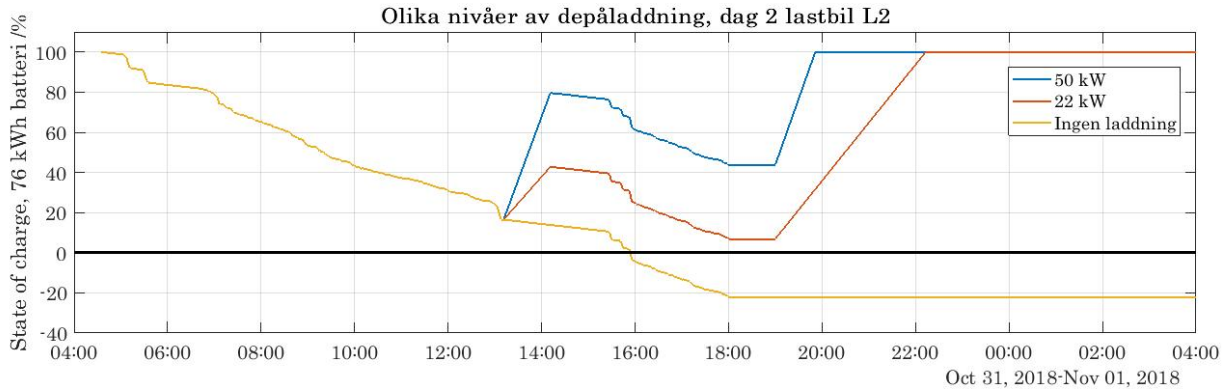


**Figur 5.8:** Visar förändringen av energinivån för Lastbil T. Förmiddagsskiftet följdes här av endast den senare delen av förmiddagspasset som endast innehöll urban trafik. 45 minuters depåladdning infördes även en gång på morgonen och en gång vid lunch för att se hur laddning vid 22 kW respektive 50 kW påverkade energiinnehållet i batteriet.

## Lastbil L1

En laddstudie genomfördes också för dag två för den lätta lastbilen L2 (se figur 5.9) då det var denna dag som hade den största energiförbrukningen för de dagar med endast urban trafik för de lätta lastbilarna. Detta berodde på att denna dag innehöll både ett urbant för- och eftermiddagspass.

Utan laddning klarade lastbilen inte av att köra hela dagens rutt med ett batteri på 76 kWh. Mitt på dagen mellan de två skiften befann sig lastbilen i depån. Därför innehåller detta exempel laddning i 1 h vid två olika effektnivåer vilket har en stor påverkan på resultatet. Vid 50 kW klarar sig lastbilen igenom dagen med marginal. Med 22 kW laddning blir energinivån väldigt låg men strax innanför batterikapaciteten.



**Figur 5.9:** Visar förändringen av energinivån under dagen för dag 2 Lastbil L2. Den höga energiförbrukningen berodde på att lastbilen genomförde två skift. Men det tillät och ett test med en timmes laddning i depån mitt på dagen. Med laddning vid de två effektnivåerna 22 kW och 50 kW förändras resultatet.

## 5.2 Känslighetsanalys

I avsnitt 4.2 diskuterades valet av parametrar och utifrån denna diskussion valdes också vilka parametrar som upplevdes intressanta att studera i känslighetsanalysen. Känslighetsanalysen har genomförts för förmiddagspasset under första dagen för lastbil T. De undersökta parametrarna samt deras värden presenteras i tabell 5.1 och tabell 5.2. Varje parameter har varierats enskilt och resultatet från energiberäkningen kan ses under respektive valda parameter samt dess förändring i procent.

Under arbetets gång ökade förståelsen kring att hjälpkraften,  $P_{AUX}$  kunde ha en större variation än först trots om luftkonditionering nyttjas i stor grad i fordonet. På grund av detta utökades känslighetsanalysen för denna variabel i ett sent skede i arbetet.

**Tabell 5.1:** Känslighetsanalysen genomfördes för förmiddagspasset under första dagen för lastbil T. Här presenteras hur resultatet för energiförbrukningen påverkades då de två första parametrarna Luftmotståndskoefficienten,  $C_d$ ; Rullmotståndskoefficient,  $C_r$  varierades enskilt.

Parameter	Min	Utgång	Max
$C_d$	0,6	0,8	0,9
[kWh]	124	134,5	139,4
[%]	-7,8%		+3,6%
$C_r$	0,006	0,008	0,01
[kWh]	124,6	134,5	143,6
[%]	-7,4%		+6,8%

**Tabell 5.2:** Känslighetsanalysen genomfördes för förmiddagspasset under första dagen för lastbil T. Här presenteras hur resultatet för energiförbrukningen påverkades då den tredje parametern Hjälpkraften,  $P_{AUX}$  varierades. Då kunskapen om att hjälpkraftens storlek kunde öka om luftkonditionering nyttjades i hög grad adderades en utökad studie av denna parameter i känslighetsanalysen. Med en stor effekt på hjälpkraften kan energiförbrukningen öka avsevärt.

Parameter	Min	Utgång	Max	Extra		
$P_{AUX}$ [W]	1500	3000	4000	5000	6000	10 000
[kWh]	122,9	134,5	142,2	150	157,8	188,8
[%]	-8,6%		+5,7%	+11,5%	+17,3%	+40,4%

Känslighetsanalysen visade att valet av parametrar hade en påverkan på energiförbrukningen som var mer än marginell om än under 10 %. När det gällde hjälpkraften  $P_{AUX}$  kunde dock ett högre värde få en större påverkan på den slutgiltiga energiförbrukningen.

## 6 Diskussion

Utifrån den kunskap som inhämtades under litteraturstudien skapades en god kunskapsgrund kring dagens prestanda för batterielektriska lastbilar, vilken laddteknik och laddeffekter som finns tillgänglig och kunskap kring hur ett batteri bör användas. Med denna kunskap tillsammans med resultaten från modellen i den uppsatta fallstudien kunde slutsatser dras kring potentialen till elektrifiering av de undersökta lastbilarna. I detta kapitel kommer det första delkapitlet att presentera den diskussion som ledde fram till slutsatserna om elektrifieringspotentialen. Efter detta kommer nästa delkapitel presentera diskussionen kring metodvalet.

### 6.1 Möjliggör energiförbrukningen elektriska lastbilar?

#### Lastbil T - Hela dagen

När energiförbrukningen för hela dagarna för lastbil T studeras i figur 5.1 blir det tydligt att det inte går att genomföra en hel dags tur med den modellerade elektriska lastbilen utan laddning om dagen innehåller ett skift med regional trafik. På dagen med lägst förbrukning använder lastbilen 150 kWh energi mer än den tillgängliga kapaciteten. För att klara av att genomföra dagen med den elektriska lastbilen behöver runt 200 kWh energi tillföras med laddning under dagen. För att uppnå detta krävs laddning vid hög effekt och lång tid relativt de pauser som finns under dagen. Om laddning sker vid 200 kW skulle det krävas ungefär en timmes laddning för att åstadkomma detta. Med en timmes lunch laddning i depå skulle detta kunna vara möjligt att lösa.

Den stora andelen motorvägskörning under den regionala rutten ger hög energiförbrukning. En lösning på problemet skulle vara ett större batteri. Men av de presenterade lastbilarna på marknaden är ett 300 kWh batteri det största, detta kan dock ändras framöver. Vad som däremot är svårare att komma ifrån på kort sikt är att ett större batteri betyder en högre vikt vilket i sin tur ger högre energiförbrukning och minskar den möjliga lastvikten. Ett större batteri leder också till ett högre pris och större miljöpåverkan.

För att minska problemet med den höga energiförbrukningen skulle en lösning kunna vara att sänka hastigheten och öka räckvidden.

#### Lastbil T - Endast förmiddagen

Om endast förmiddagsskiftet för lastbil T, som innefattar en morgontur till Lund följt av urban trafik fram till lunch, studeras så framträder en annan bild. Under alla dagar klarar lastbilen av att genomföra skiftet utan laddning. Även när en del av den urbana körningen byts ut mot ännu en lokal tur den femte dagen klarar lastbilen av att genomföra passet även om marginalerna är mindre. Med en energiförbrukning på den nivå som beräknats för alla förmiddagar för lastbil T förutom den femte dagen skulle det finnas möjlighet till att ha en lastbil med ett mindre batteri.

#### Lastbil T - Förmiddagens andra del

Om även morgonturen tas bort och endast andra delen av förmiddagen studeras klaras dessa timmar med ännu större marginal när det kommer till batterikapacitet. Med denna typ av rutt för den studerade lastbilen hade lastbilen kunnat klara sig på ett mindre batteri. Ett mindre batteri är inte bara billigare, det är också lättare, vilket gör att den möjliggör högre lastvikt. Samtidigt betyder mindre materialåtgång en mindre klimat-, miljö- och social påverkan. Batteriets utvinning och produktion står för en stor del av hela det elektriska fordonets livscykelns negativa påverkan inom dessa områden.

#### Möjligt med dubbla urbana pass för lastbil T?

Utifrån laddexemplet i figur 5.7 fås en bättre uppfattning om hur lastbilen skulle klara av att köra det tuffaste urbana förmiddagspasset för lastbil T två gånger. Båda skiften börjar med en lokal tur och ingen laddning görs innan dagens skift är slut. Denna rutt hamnar närmare de krav som ställs på lastbilen idag om att kunna användas i två skift. Även i detta fall klarar den elektriska lastbilen av dagen även om energinivån vid dagens slut är låg. Med laddning i depå under dagen så blir marginalerna för batterikapaciteten mycket bättre. Om även snabbaddning introduceras under rutten kan ökas möjligheterna ytterligare.

## **Lastbil L1**

När det gäller den lätta lastbilen L1 så överstiger energiförbrukningen batterikapaciteten för dag 4 då lastbilen genomför 2 lokala turer. I detta fall skulle lastbilen inte klara av att genomföra rutten utan att ladda under skiftet. Dagen bestod endast av ett skift där hela passet genomfördes innan lastbilen återgick till depån, detta gör det alltså problematiskt att hinna med depåladdning. Med snabbaddning ute under rutten skulle lastbilen potentiellt kunna klara av att genomföra rutten. Denna typ av dag kan därmed tydas som en borte gräns för vad den elektriska lastbilen klarar av att genomföra i dagens läge. I de fall lastbilen endast kör urbant, vilket är majoriteten av dagarna, klarar lastbilen av att genomföra hela dagen utan laddning.

## **Lastbil L2**

För den lätta lastbilen L2 är förbrukningen generellt aningen högre än för L1. Alla de undersökta dagarna för denna lastbil innehåller endast urban körning och förutom dag 2 klarar lastbilen av att genomföra dagen utan laddning, även om batterinivån ibland blir låg. Det som särskiljer dag 2 och gör att den får för hög energiförbrukning för att klara sig igenom dagen utan att ladda är att den innehåller två skift med urban körning. Utifrån figur 5.9 går det dock att se att om lastbilen laddas under lunchen i depån med minst 50 kW i 30 min så klarade lastbilen av att genomföra dagen även med två skift.

Det blir tydligt att oftast är energiförbrukningen för de två lätta lastbilarna inom batterikapaciteten men i vissa fall överstiger den. Att ladda i depå under dagen när lastbilen ändå hade stått still råder i många fall bot på detta problem. I de fall det inte räcker skulle en annan lösning kunna vara att planera så att de kortare rutterna körs av en elektrisk lastbil och de längre körs av en lastbil på exempelvis biodrivmedel. Det kan vara så att situationen ser annorlunda ut om några år när tekniken utvecklats och erfarenheten kring att använda elektriska fordon är högre.

## **Vilken effekt krävs för nattladdning?**

Med en möjlig laddtid mellan skift på ca 9 timmar och laddning av ett batteri på 300 kWh så blir det i figur 5.6 tydligt att det krävs en effekt på mer än 22 kW för att hinna fulladda innan morgondagens pass påbörjas. I detta fall laddas 80 % av batteriet upp och detta kräver en effekt på minst runt 50 kW.

I det fiktiva exemplet med två pass efter varandra i figur 5.7 då kvällsladdningen uppskattas starta senare så räcker 50 kW för att slutföra laddningen. Laddning vid högre än 50 kW slutför laddningen tidigare.

När det gäller de lätta elektriska lastbilarna med en batterikapacitet på 76 kWh slutförs nattladdningen med god marginal med en laddeffekt på 22 kW.

## **Hur kan elvägstekniken påverka resultaten?**

För alla de tre lastbilarna ökar energiförbrukningen och möjligheten att endast klara dagen på nattladdning minskar desto mer motorvägskörning som lastbilarna gör. En lösning på detta problem skulle vara om det fanns möjlighet till dynamisk laddning under färd på en motorväg med elväg som presenterats i några forskningsprojekt. Om den trafikmiljö med högst energiförbrukning istället hade kunnat vara en där batteriet kan laddas upp hade resultatet för denna studie ändrats drastiskt. Den möjliga räckvidden även för tunga lastbilar skulle då öka avsevärt och förmodligen skulle lastbilar kunna ha mindre batterier. Detta skulle minska inköpspriset för lastbilen och troligen även minska de miljö- och sociala problem kopplade till produktionen av batterier.

## **Över eller underskattar modellen energiförbrukningen?**

Om man studerar siffrorna för den genomsnittliga energiförbrukningen per 10 km fås en uppfattning om hur de valda parametrarna påverkar resultatet och hur de relaterar till faktiska elektriska lastbilar. För den tunga lastbilen varierar förbrukningen mellan 12,8 - 13,3 kWh/10 km. På grund av dålig tillgång till genomsnittliga förbrukningssiffror för elektriska lastbilar tas en grov uppskattning som jämförelse. Volvos nya FL Electric anges ha en räckvidd på maximalt 250 km med sitt batteri på 300 kWh (Volvo trucks, 2018). Om hela denna energimängd krävs för att nå 250 km betyder det 12 kWh/10 km. Detta antyder att den simulerade energiförbrukningen i detta arbete hellre överskattar än underskattar förbrukningen. För de två lätta lastbilarna varierar förbrukningen mellan 5,1 - 5,6 kWh/10 km.

## 6.2 Känslighetsanalysen

För de två första parametrarna som studerades i känslighetsanalysen, luftmotståndskoefficienten,  $C_d$  och rullmotståndskoefficienten,  $C_r$  hade de en påverkan på den slutgiltiga energiförbrukningen som var mer än marginell om än maximalt 7,8 %. Detta visade på vikten av att se till att hålla dem så låga som möjligt för att få en låg energikonsumtion. Gällande luftmotståndskoefficienten,  $C_d$  är det upp till lastbilstillverkaren att skapa ett aerodynamiskt fordon som ger ett lägre luftmotstånd. När det gäller rullmotståndet,  $C_r$  är det en faktor som åkeriet har större möjlighet att påverka genom att välja däck med lågt rullmotstånd men även att hålla rätt däcktryck

För den tredje parametern hjälpkraften,  $P_{AUX}$  genomfördes en utökad känslighetsanalys för att skapa bättre förståelse för hur även en ökad effektkonsumtion beroende av luftkonditionering skulle påverka resultaten. För de två ursprungliga valen av gränser för känslighetsanalysen som baserades på endast de elektroniska apparaternas effektförbrukning så påvisades maximalt en variation på -8,6 - +5,7 % när de varierades var för sig. Energieffektiv elektronik i lastbilen har därför möjlighet att minska energiförbrukningen.

Det blir tydligt att valet av det nominella värdet på dessa parametrar är viktigt för energiförbrukningens resultat. Som också framgår av diskussionen vid valet av nominella värden på parametrar till modellen valdes hellre högre värden än lägre för att hellre överskatta än underskatta den beräknade energiförbrukningen.

I det utökade fallet för hjälpkraften ökades effekten och visade att en dubblerad hjälpkraft till 6000 W gav en ökad energiförbrukningen på 17,3 %. Vid en effekt på 10 000 W som dras konstant över hela dagen ökade energiförbrukningen med 40,4 % jämfört med den ursprungliga effekten på 3000 W. Hjälpkraftens effekt kan alltså ha stor påverkan på den resulterande energiförbrukningen. I detta arbete studerades denna parameter tyvärr inte närmare och skulle vara intressant att studera i ett framtida arbete.

## 6.3 Datainsamling och modell

### Datainsamling och datakvalitet

När det kom till användandet av GPS-enheterna upplevdes det som väldigt smidigt och okomplicerat.

Kvaliteten på den insamlade datan var god även med den höga upplösningen. De område där problem uppmärksammades var främst när lastbilen var stillastående och drift av koordinaterna förekom. Detta påverkade de insamlade hastigheterna i liten utsträckning och i många av dessa fall lyckades GPS-enheten bortse från dessa felaktiga koordinatangivelser och ange hastigheten till noll. Problemet leder till en liten överskattning av energiförbrukningen. För att motverka detta problem vid framtida insamlingar vore det bra att stänga av GPS-enheterna vid lastning och lossning. Med den valda typen av GPS-enhet stängdes de av när tändningen på lastbilen slogs av och detta kan vara en bra instruktion att ge chaufförerna.

### Modellen

Vid arbetets påbörjande skedde en diskussion om att använda enklare beräkningar för att beskriva energiförbrukningen för en elektrisk lastbil. Efter vissa försök upplevdes de genomförda beräkningarna som alltför grova för att kunna beskriva en elektrisk lastbils energiförbrukning på ett fullständigt vis. Ett exempel på en betydande del som saknades vid dessa beräkningar var uppskattning av den bromsenergi som återfås till batteriet vid inbromsning. Efter att förståelsen för den modell som fanns tillgänglig vid avdelningen för industriell elektroteknik och automation ökade, valdes denna för att bättre inkludera alla aspekter av en elektrisk lastbils energiförbrukning. Den höga upplösningen som de valda GPS-enheterna erbjöd var en av förutsättningarna för att kunna använda den mer detaljerade modellen.

Med den detaljerade modellen gavs exempelvis möjlighet till noggrannare studie av energinivåns förändring under dagen. En aspekt av att använda en detaljerad modell var att det krävdes en stor mängd arbetstid för att behandla den insamlade datamängden och resultatet från modellen. Med en enklare modell och mindre detaljerade resultat skulle sannolikt mer tid kunna läggas på att studera andra intressanta frågor mer ingående som exempelvis ekonomiska och miljömässiga aspekter av en elektrisk lastbil. Utifrån den formulerade frågeställningen ansågs det dock som intressant att kunna föra en mer detaljerad diskussion kring förbrukning och laddning utifrån lastbilarnas specifika rutter och att använda modellen upplevs därför som ett bra beslut.

För att förenkla arbetet hade redan insamlade hastighetsdata för en lastbil kunna använts istället för att samla in ny data. Detta hade kunnat spara in tid och möjligtvis hade data från olika städer kunnat använts

vilket skulle kunna möjliggöra intressanta jämförelser. I detta fall undersöktes det inte närmare om det skulle gå att få tag på sådan data. Det ansågs även intressant att kunna göra en bedömning som skulle gå att applicera direkt på det undersökta åkeriet även om resultatet även skulle vara applicerbart för andra åkerier med liknande förutsättningar.

Att samla in lokala data krävde även samarbete med personer i branschen och att fysiskt placera ut GPS-enheterna i fordonen. Detta krävde en del tid men i gengäld skapades en god kontakt med personer som jobbar med lastbilar och gods varje dag vilket gav möjlighet att få ta del av deras erfarenheter. Att få möjlighet att åka med en av lastbilarna under en dag och att få intervjua både chaufför och transportledare var ovärderligt för att skapa en god förståelse. Denna förståelse har varit väldigt viktig för att kunna göra relevanta analyser och rimlighetsbedömningar av den insamlade datan och även vilka resultat som faktiskt är av intresse för dem som befinner sig ute i samhället och vill förstå mer om elektriska lastbilars möjligheter och begränsningar. Med en specifik fallstudie blir också resultaten väldigt konkreta.

En nackdel med detta kan vara att resultaten är svårare att generalisera och applicera på andra lastbilar i andra städer. Men även om undersökningen inte var så omfattande så har energi lagts på att försöka beskriva rutterna på ett sätt som gör dem möjliga att applicera även för andra situationer.



## 7 Slutsatser och fortsatt forskning

### 7.1 Slutsatser

#### Metod och känslighetsanalys

Att kombinera en kvantitativ studie med kvalitativa intervjuer och observationer gav en bredare förståelse för helheten gällande lastbilarna åkeriet använder och de krav de ställer på dem. Valet att genomföra en datainsamling med hög upplösning och beräkningar i en detaljerad beräkningsmodell gav större förståelse för energiförbrukningens karakteristik och möjliggjorde fler detaljerade analyser. Erfarenheterna från personerna i branschen som intervjuades tillsammans med den detaljerade beräkningarna var avgörande för att kunna dra relevanta slutsatser från arbetet.

Känslighetsanalysen visade att åkeriet har möjlighet att påverka energiförbrukningen med viktiga procent genom en aerodynamisk lastbil och däck med lågt rullmotstånd och rätt däcktryck. Energieffektiv elektronik i lastbilen kan också ge denna effekt. Dock kan en luftkonditionering med hög effekt öka energiförbrukningen. Dock har denna studie inte berört detta område tillräckligt djupt för att dra några större slutsatser.

#### Potential till elektrifiering

Den 18 ton tunga lastbilen som undersökts hos åkeriföretaget i Malmö har idag en rutt som innehåller en för stor del regional körning för att en dags rutt ska kunna genomföras utan att ladda lastbilens batteri innan de två skiften är över. Även om snabbbladdning genomförs under rutterna kan den tid det innebär vara problematisk för åkeriet att få in i lastbilens schema som det ser ut idag. Dock visar de laddexempel som genomförts att en laddning i depå under lunchen kan ha stor påverkan på energibalansen. Med en timmes laddning i depå vid 200 kW skulle en energimängd på 200 kWh kunna fås som ger stor påverkan även på den tunga lastbilen vid regional trafik.

Intresset för detta arbete var däremot att undersöka möjligheten att elektrifiera lastbilar med urbana rutter och inte regionala. Att införa en batterielektrisk lastbil som endast genomför förmiddagens urbana pass med en lokal rutt för den tunga lastbilen är möjligt redan idag enligt detta arbete.

Den tunga lastbilen genomför generellt både ett förmiddags- och ett eftermiddagspass. Utifrån detta är det intressant att se att det fiktiva fall där förmiddagens pass duplicerats för att även köras under eftermiddagen också tillåter introduktion av en batterielektrisk tung lastbil med ett batteri på 300 kWh. Batteriets energinivå blir i detta fall lågt vid andra skiftets slut, men detta kan lösas genom att införa laddning under de tider lastbilen befinner sig i depån. Om snabbbladdning införs ute under rutten ökar möjligheterna ytterligare.

Det är även möjligt att använda en lätt batterielektrisk lastbil för de urbana förmiddagspass som var vanliga för de undersökta lastbilarna. Även de förmiddagspass som inkluderade en lokal tur på morgonen för den lätta lastbilen medgav genomförandet av hela skift utan laddning. Om längre sträckor av lokal körning adderades till skiftet så krävdes laddning ute på rutten för att klara av skiftet. I majoriteten av fallen genomförde de lätta lastbilarna endast ett förmiddagspass. I det fall som även ett eftermiddagspass genomfördes med urban trafik räckte inte batterikapaciteten för hela dagen. Med laddning under de stopp som skedde i depå kunde dock båda skiften genomföras med en lätt batterielektrisk lastbil.

När det kommer till att ladda lastbilarnas batterier under natten för att vara redo för nästkommande dags skift så klarar en lätt elektrisk lastbil med ett batteri på 76 kWh så klaras nattladdningen av med god marginal med en laddeffekt på 22 kW. För en tung lastbil med ett batteri på 300 kWh räcker inte detta och en högre effekt på runt 50 kW krävs för att klara nattladdningen då den studerade tunga lastbilen endast har ca 9 h på sig att ladda.

Sammanfattningsvis visar detta arbete på att en elektrifiering av urban lastbilstrafik i Malmö stad med viss lokal trafik är möjlig redan idag. Ju mer urban trafik som byts mot motorvägskörning desto större blir sannolikheten att laddning under dagen krävs för att kunna genomföra rutten. I första hand kan laddning då lastbilen redan befinner sig i depå ge en viktig ökning av räckvidden. I andra hand kan utnyttjande av laddning ute under rutten och potentiellt hos vissa kunder öka den ytterligare.

Om de forskningsprojekt som testar kontinuerlig laddning av fordonet under färd leder till ett införande av tekniken i framtiden skulle detta drastiskt ändra de slutsatser som här gjorts kring möjligheten att elektrifiera fordon med stor andel motorvägskörning.

De exempel där energiförbrukningen blir högre jämfört med övriga dagar för de respektive lastbilar kan leda till ensidiga krav på hög installerad batterikapacitet. Vid en introduktion av batterielektriska lastbilar kan

ett för stort fokus på batterikapacitet dock leda till att andra och nya aspekter, jämfört med en investering i en diesellastbil, inte tas i tillräckligt stort beaktande. Rutter med bättre anpassning utifrån den elektriska lastbilen och introduktion av laddning under dagen är två aspekter som kan göra att introduktionen skulle kunna ske med ett mindre batteri och därmed till en mindre kostnad och ha stor påverkan på den ekonomiska kalkylen för lastbilen. Ett mindre batteri med mindre materialåtgång kan även minska risken för de miljö- och sociala problem som kan vara kopplade till materialutvinning och batteriproduktion.

## 7.2 Fortsatt forskning

Utifrån känslighetsanalysen framkom det information om att en luftkonditioneringsanläggning kan ha en betydande påverkan på energiförbrukningen. Detta vore intressant att studera närmare för att ge bättre förståelse för dess magnitud.

Arbete har visat att elektrifiering av urban trafik med även en del lokal körning är möjlig redan idag. Ju mer motorvägskörning som adderas desto större blir intresset att veta hur väl man kan försörja lastbilarna med snabbaddning längs rutten eller vid lossning hos kunderna. Ett nästa steg skulle kunna vara att titta hur laddinfrastruktur optimalt borde placeras för att skapa så stor nytta som möjligt utifrån åkeriet. Ännu intressantare vore om de fanns möjlighet att studera all lastbilstrafik för en stad och optimera placeringen av laddplatser utifrån detta. Denna optimering skulle också kunna ske utifrån nätet och dess möjlighet att leverera den önskade effekten för att effektivt kunna utnyttja det nät som redan existerar. Utifrån detta vore det även intressant att studera hur ett ruttplaneringsprogram skulle kunna se ut som automatiskt kan optimera rutterna utifrån uppskattningar om energiförbrukning och tillgängliga laddplatser.

Utifrån diskussionen om kontinuerlig laddning under färd så kallad elväg och det exjobbet om elektrifierad busstrafik (Alfredsson & von Essen, 2018) vore det intressant att studera hur detta skulle påverka möjligheterna för elektrifierade lastbilar. Denna teknik har en stor initial investeringskostnad och därför vore det även intressant att se om kostnaden totalt sett blir lägre eller högre för alla inblandade med en elväg jämfört med andra alternativ för att uppnå en fossilfri fordonsflotta.

För att öka tillgängligheten och applicerbarheten på resultaten från detta arbete skulle karaktistiken för lastbilsflottan för en stad, region eller land kunna studeras. Resultatet gällande lastbilsstorlek och genomsnittlig rutt skulle därmed kunna relateras till de lastbilar som studerats i denna studie och en större förståelse för elektrifieringspotentialen på en större skala skulle kunna åstadkommas.

Efter att ha visat på de tekniska möjligheterna med elektrifiering av lastbilar i Malmö stad vore ett naturligt nästa steg att titta närmare på den ekonomiska kalkylen för en sådan introduktion.

När det gäller produktionen av en batterielektrisk lastbil skiljer den sig mot en konventionell diesellastbil främst genom att den har ett batteri. Detta gör att miljöpåverkan sett till hela livscykelns skiljer sig åt. Att producera batterier i länder med el producerad från fossila källor har en påverkan på klimatgasutsläppen. Men utöver detta kräver batteriet också en stor andel metaller som leder till gruvbrytning och anrikning. Att införskaffa ett batteri kan alltså ge upphov till helt andra klimat-, miljö- och sociala problem än för en konventionell lastbil och detta krävs det mer kunskap om.

## Referenser

- Alaküla M. (2018). *Hybrid Drive Systems for Vehicles - Part 1: System Design and Traction Concepts*. Lund: Lunds Universitet.
- Alfredsson, H. & von Essen, E. (2018). *Kostnadsoptimerad elektrifiering av Lunds stadsbusstrafik med Elonroad elvägssystem*, TEIE-5405. Masteruppsats, avdelningen för Industriell elektroteknik och automation. Lund: Lunds Universitet. [http://iea.lth.se/publications/MS-Theses/Full%20document/5405\\_full\\_document.pdf](http://iea.lth.se/publications/MS-Theses/Full%20document/5405_full_document.pdf)
- Battery University (2018). BU-409: Charging Lithium-ion. [Uppdaterad 2018-04-24] [https://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)
- Berl A., Eider M. (2018). *Dynamic Generation of Recommendations for EV Battery Health*. 2018 International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive. doi: 10.23919/EETA.2018.8493182.
- CharIN (u.å.). *Frequently Asked Questions*. <https://www.charinev.org/faq/> [Hämtad 2018-10-22].
- CHAdEMO (2018). *CHAdEMO Association and protocol March 2018*. [https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/uploads/2018/06/CHAdEMO\\_Brochure\\_spring18.pdf](https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/uploads/2018/06/CHAdEMO_Brochure_spring18.pdf) [Hämtad 2018-10-19]
- Daimler (2018). *eSprinter: Systematic electrification of commercial fleets: from 2019 the eSprinter will add to the drive portfolio*. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/ko/en/39957895> [Hämtad 2018-10-26]
- Daimler (2018b). *The future is silent*. <https://www.daimler.com/products/trucks/fuso/ecanter.html> [Hämtad 2018-10-26]
- Energimyndigheten (2018). *Reduktionsplikt*. [Uppdaterad 2018-06-18]. <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/>[Hämtad 2019-02-27]
- ElonRoad (2017). *ElonRoad Video*. <http://elonroad.com/video/> [Hämtad 2018-10-24]
- Elsäkerhetsverket (2019). *Ladda elbilen – Kan jag ladda hemma? Utgåva 2*. <https://www.elsakerhetsverket.se/globalassets/publikationer/broschyrer/ladda-elbilen.pdf>
- Elväg Syd (2019). *Elväg syd kör vidare*. <http://futurebylund.se/project/elvag-syd-kor-vidare> [Hämtad 2019-02-19]
- EU-kommissionen (2019). *Reducing CO2 emissions from heavy-duty vehicles*. [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en) [Hämtad 2019-02-26]
- FN (2015). *PARIS AGREEMENT*. Förenata Nationerna. [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)
- FUSO (2018). *Q & A*. <http://efuso.jp/ecanter/> [Hämtad 2018-10-29]
- GWL Power (2012). *Depth of discharge (DOD)*. [2012-07-07] <https://www.ev-power.eu/blog/Tests-and-diagnosis/Depth-of-discharge-DOD.html> [Hämtad 2019-01-25]
- GWL Power (2019). *How to calculate the cost of stored energy in a LiFePO<sub>4</sub> cell?* [2019-01-20] <https://www.ev-power.eu/blog/Tests-and-diagnosis/How-to-calculate-the-cost-of-stored-energy-in-a-LiFePO4-cell.html> [Hämtad 2019-01-25]
- International Energy Agency (2018). *Global EV Outlook 2018*. International Energy Agency. <https://webstore.iea.org/global-ev-outlook-2018>
- InsideEV (2018). *CHAdEMO and Chinese GB/T could harmonize into a single standard*. <https://insideevs.com/china-chademo-fast-charging/> [Hämtad 2018-10-19].
- Lambert, F. (2016). *Daimler unveils its first all-electric eTruck: 26 tonnes capacity, massive 212 kWh battery for 125 miles of range [Gallery]*. [2016-07-27] <https://electrek.co/2016/07/27/daimler-etruck-first-all-electric-truck-125-miles-range/> [Hämtad 2018-02-28]
- Lambert, F. (2018a). *Tesla Semi defies laws of physics and is passing us by if true, says Daimler's head of trucks*. [2018-02-21] <https://electrek.co/2018/02/21/tesla-semi-defies-laws-physic-daimlers/> [2019-03-01]
- Lambert, F. (2018b). *Tesla throws cold water on Porsche's faster charging, says Supercharger to max out at 250 KW*. [2018-05-03] <https://electrek.co/2018/05/03/tesla-supercharger-v3-charge-rate-porsche-faster-charging/> [Hämtad 2018-10-22]
- MAN (2018). *Simplifying Business – MAN Truck & Bus at IAA Commercial Vehicles 2018*. [2018-09-19] <https://www.truck.man.eu/de/en/man-world/man-in-germany/press-and-media/Simplifying-Business->

-MAN-Truck-and-Bus-at-IAA-Commercial-Vehicles-2018-343680.html [Hämtad 2018-10-29]

Malmö stad (2018). *Malmö - Sveriges snabbast växande storstad*. [Uppdaterad 2018-05-16] <https://malmo.se/Kommun--politik/Fakta-och-statistik/Befolkning/Befolkningstillvaxt.html> [Hämtad 2019-01-10]

Regeringskansliet (2012). *Fossiloberoende fordonsflotta - ett steg på vägen mot nettonollutsläpp av växthusgaser*. [Uppdaterad 2012-04-02] <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/kommittedirektiv/2012/07/dir.-201278/> [Hämtad 2019-02-27]

Regeringskansliet (2017). *Det klimatpolitiska ramverket*. <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/> [Hämtad 2017-06-12]

SCB (2017). *Folkmängd, topp 50 31 december 2017*. [Uppdaterad 2018-02-21] <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/befolkning/befolkningens-sammansattning/befolkningsstatistik/pong/tabell-och-diagram/topplistor-kommuner/folkmangd-topp-50/>[H\protect\unhbox\voidb@x\bgroup\U@D1ex{\setbox\z@\hbox{\char127}\dimen@-.45ex\advance\dimen@\ht\z@}\accent127\fontdimen5\font\U@Da\egroupmtad2019-01-10]

Siemens (2015). *Siemens builds first eHighway in Sweden. Pressmeddelande Juni 2015*. <https://www.siemens.com/press/PR2015060246MOEN>

Siemens (2018b). *Charging systems for ebuses*. <https://www.siemens.com/global/en/home/products/mobility/road-solutions/electromobility/ebus-charging.html> [Hämtad 2018-10-24]

StreetScooter (2018). *StreetScooter WORK XL*. <https://www.streetscooter.eu/models/work-xl/> [Hämtad 2018-10-29]

Sveriges Åkeriföretag (2018). *Färdplan för Fossilfri Konkurrenskraft - Åkerinäringen*. [https://www.akeri.se/sites/akeri.se/files/2019-02/FFS\\_A%CC%8Akerina%CC%88ringen\\_2019.pdf](https://www.akeri.se/sites/akeri.se/files/2019-02/FFS_A%CC%8Akerina%CC%88ringen_2019.pdf) [Hämtad 2019-02-01]

Trafikverket (2019). *PM - Ökad lastbilstrafik bakom utsläppsökning 2018*. [Publicerat 2019-02-21] [https://www.trafikverket.se/contentassets/07f80f01d92144eebf1a01fcb60ac923/pm\\_vagtrafikens\\_utslapp\\_190221.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/07f80f01d92144eebf1a01fcb60ac923/pm_vagtrafikens_utslapp_190221.pdf) [Hämtad 2019-02-27]

Transportstyrelsen (2018). *Bruttovikter för fordon*. <https://transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Bruttovikter-for-fordon/>[H\protect\unhbox\voidb@x\bgroup\U@D1ex{\setbox\z@\hbox{\char127}\dimen@-.45ex\advance\dimen@\ht\z@}\accent127\fontdimen5\font\U@Da\egroupmtad2018-10-08]

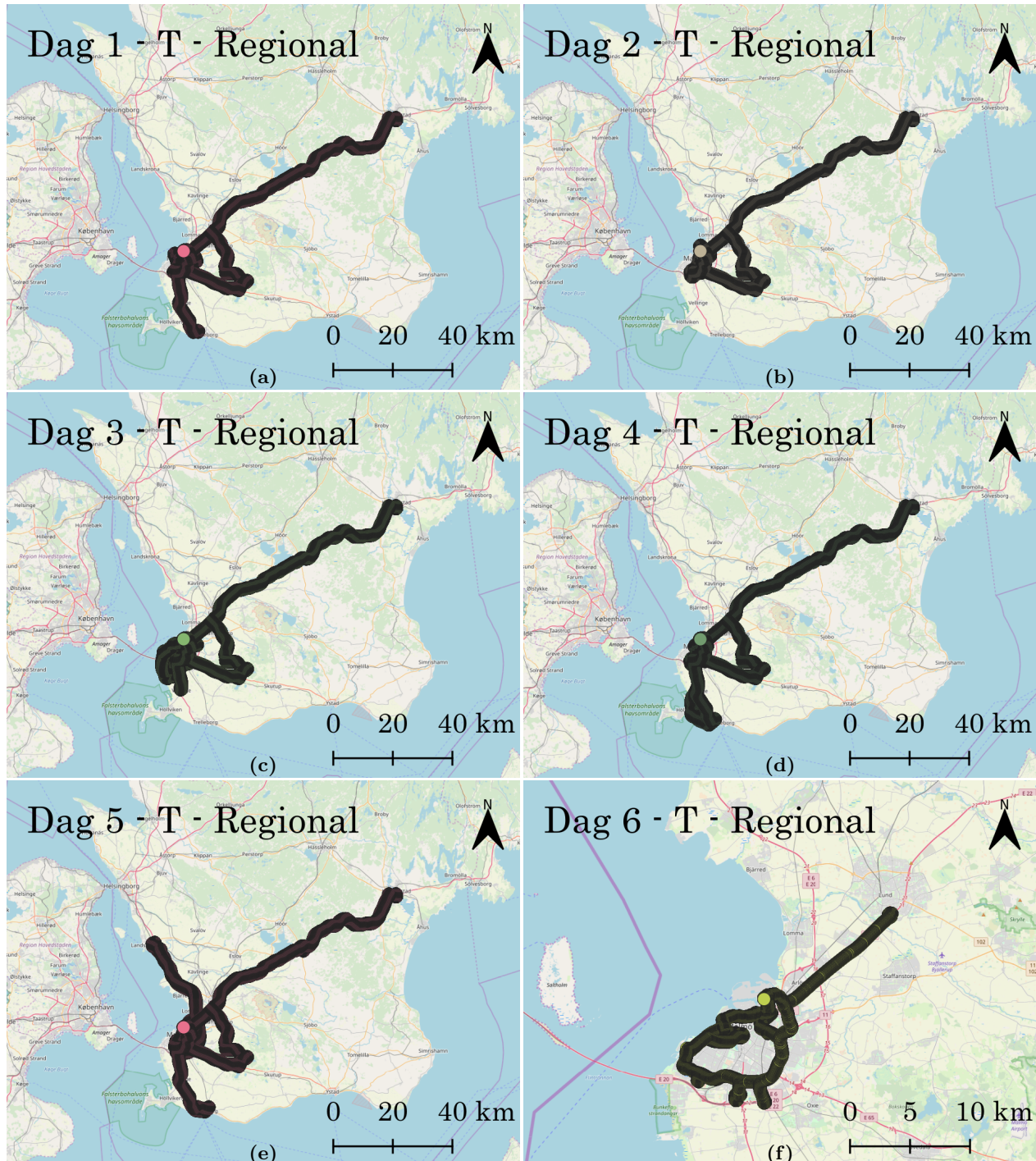
Volkswagen (2018). *Electric trucks from the modular system: flexible and powerful. Aug 2018*. <https://www.volkswagen.com/en/news/stories/2018/09/e-commercial-vehicles.html> [Hämtad 2018-10-26]

Volvo trucks (2018). *Quick facts about Volvo Trucks' electric trucks*. <https://www.volvotrucks.com/en-en/news/volvo-trucks-magazine/2018/jun/quick-facts-electric-trucks.html> [Hämtad 2018-10-08]

# A Appendix

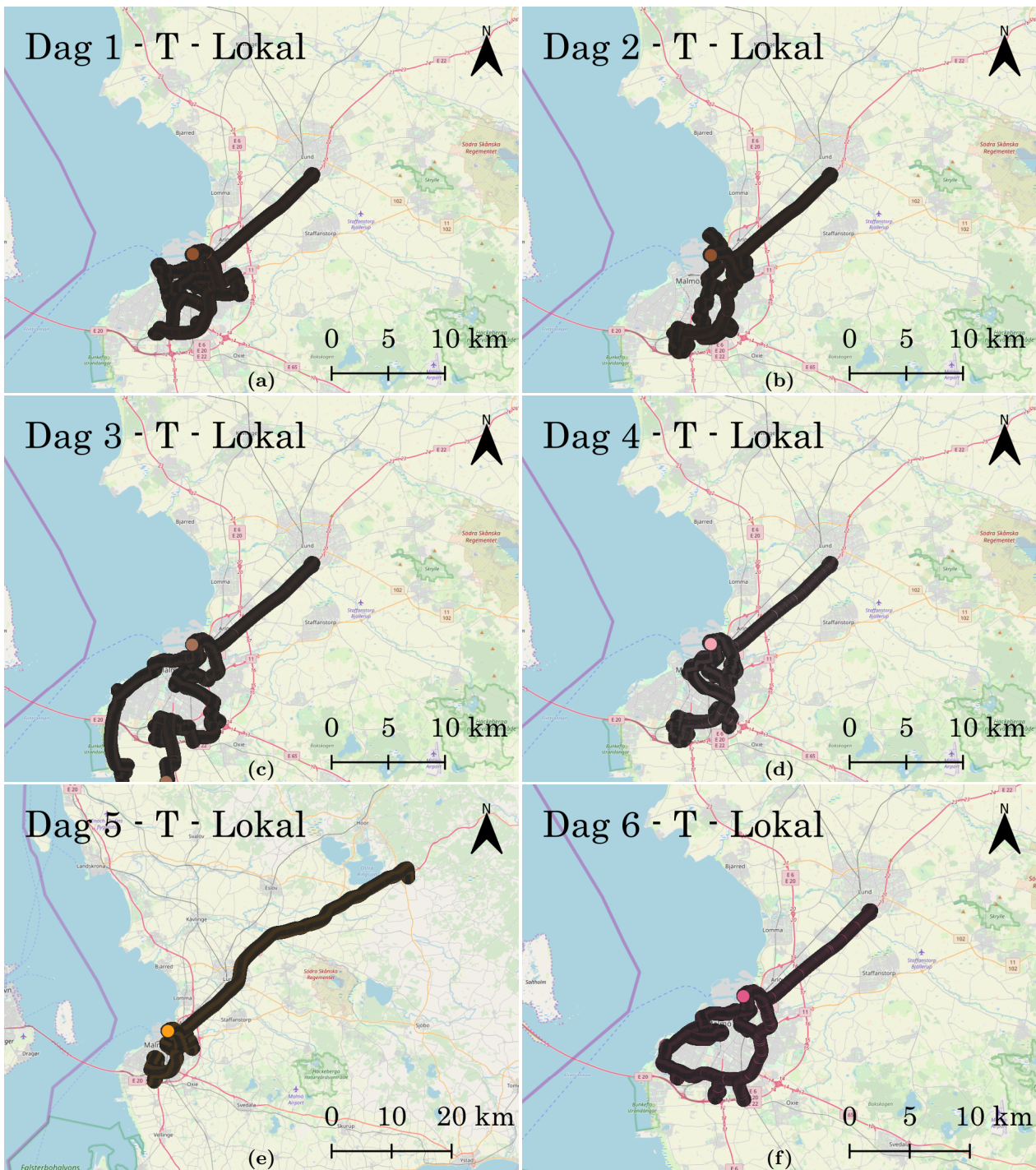
## A.1 Kartor

### A.1.1 Hela dagen lastbil T



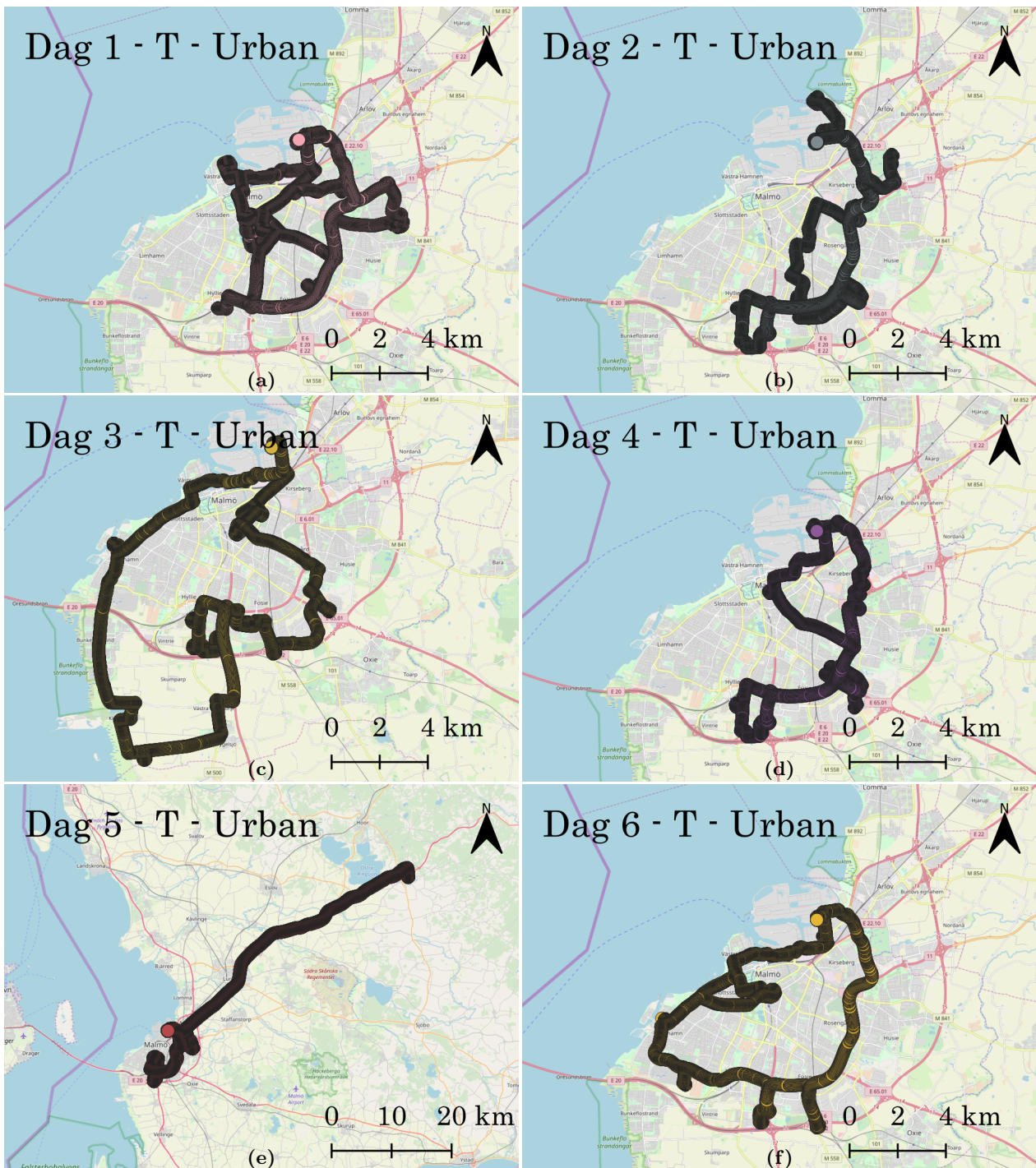
**Figur A.1:** Visar alla de insamlade koordinaterna för hela dagen för lastbil T för de sex undersökta dagarna visualiserat på kartor. Källa: OpenStreetMap, egenproduktion i QGIS.

### A.1.2 Endast förmiddagen lastbil T



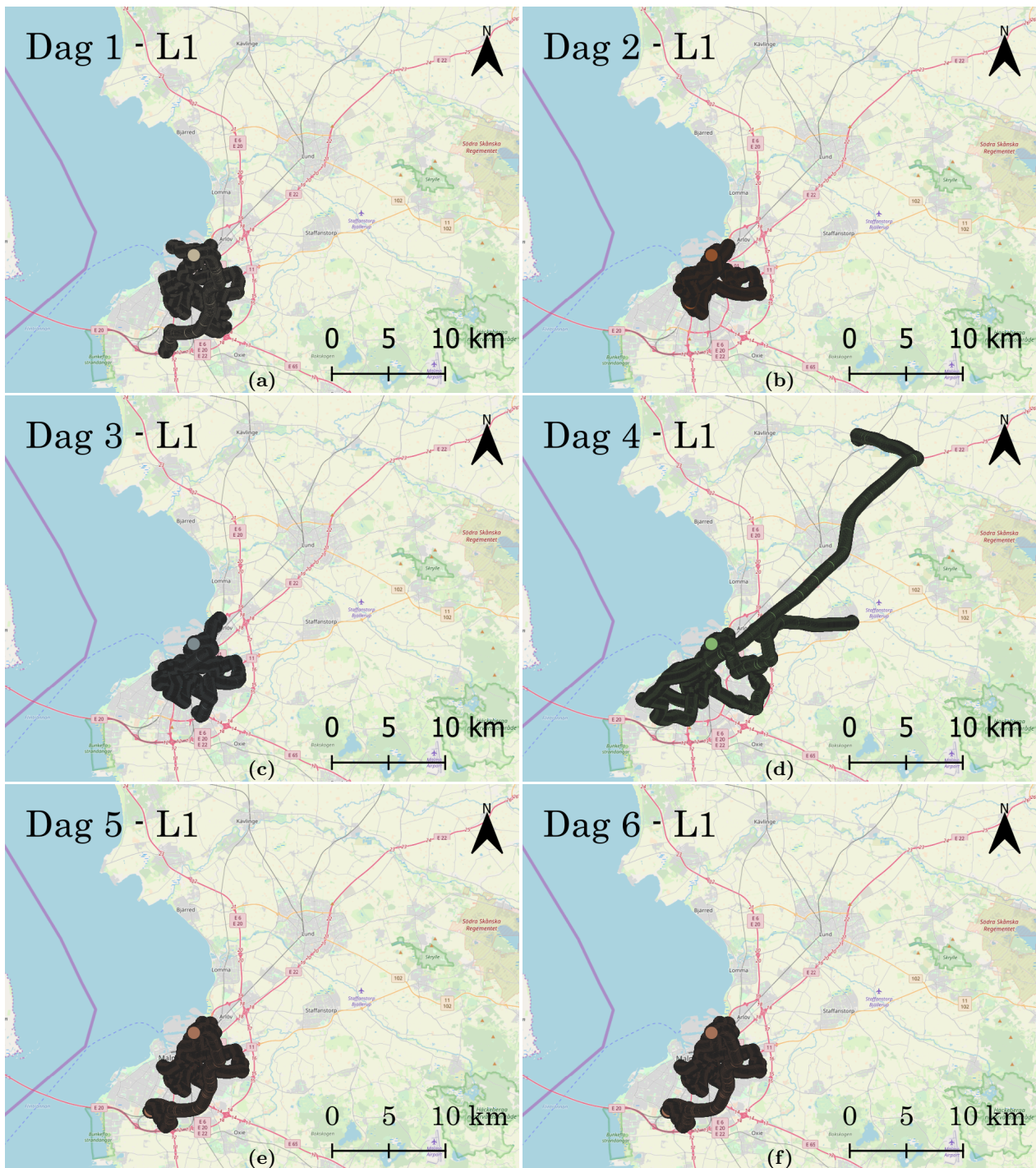
Figur A.2: Visar alla de insamlade koordinaterna för endast förmiddagen för lastbil T för de sex undersökta dagarna visualiserat på kartor. Källa: OpenStreetMap, egenproduktion i QGIS.

### A.1.3 Förmiddagens senare del lastbil T



Figur A.3: Visar alla de insamlade koordinaterna för förmiddagens andra del för lastbil T för de sex undersökta dagarna visualiserat på kartor. Källa: OpenStreetMap, egenproduktion i QGIS.

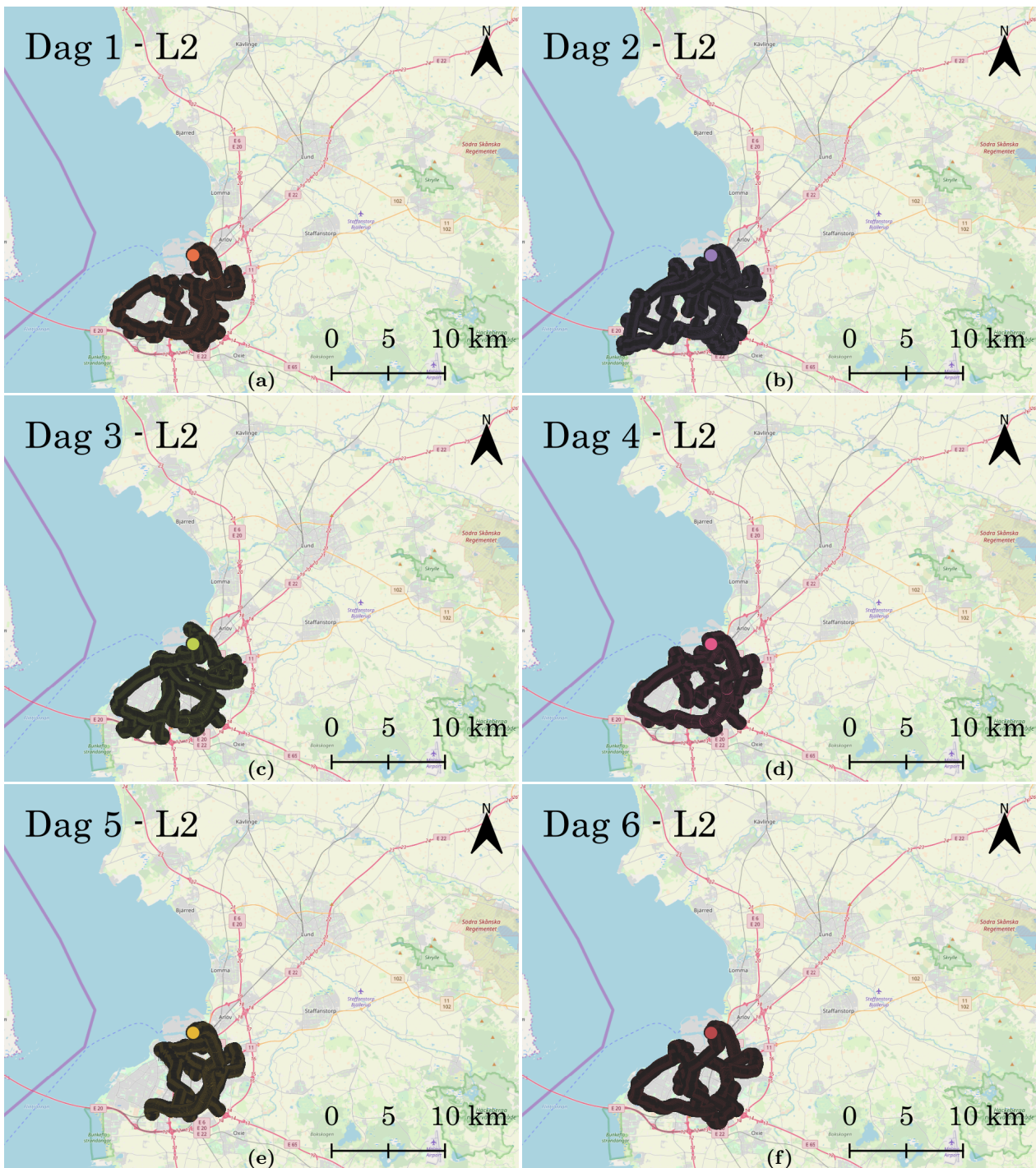
#### A.1.4 Lastbil L1



**Figur A.4:** Visar alla de insamlade koordinaterna för lastbil L1 för de sex undersökta dagarna visualiserat på kartor. Källa: OpenStreetMap, egenproduktion i QGIS.



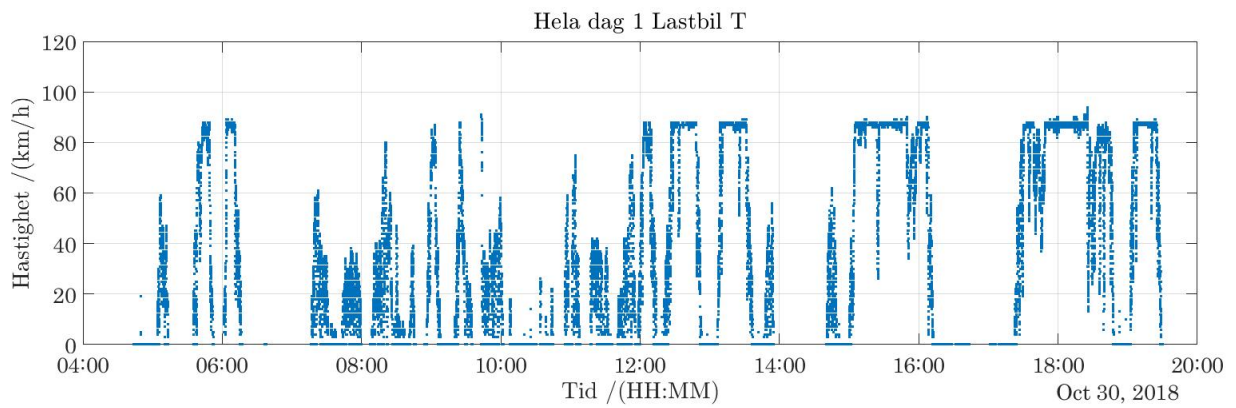
### A.1.5 Lastbil L2



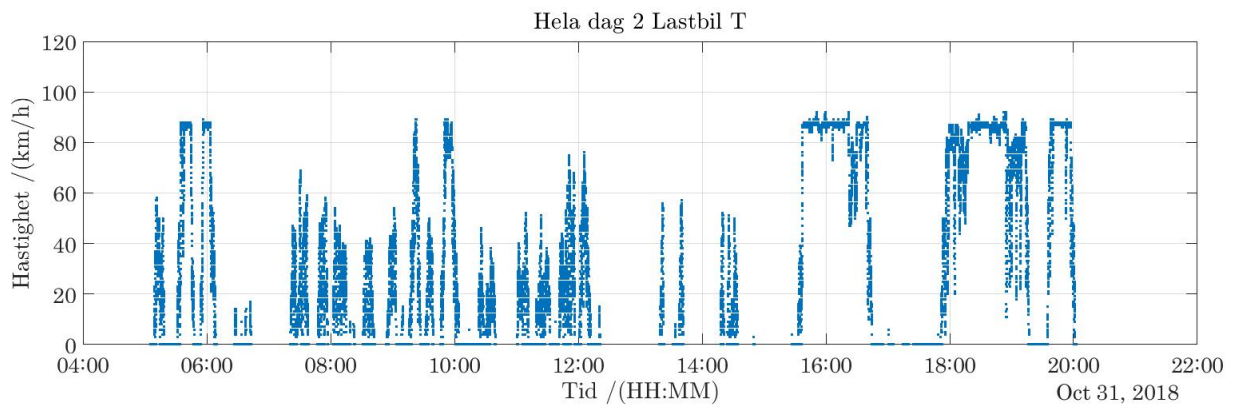
**Figur A.5:** Visar alla de insamlade koordinaterna för lastbil L2 för de sex undersökta dagarna visualiserat på kartor. Källa: OpenStreetMap, egenproduktion i QGIS.

## A.2 Hastighetsprofiler

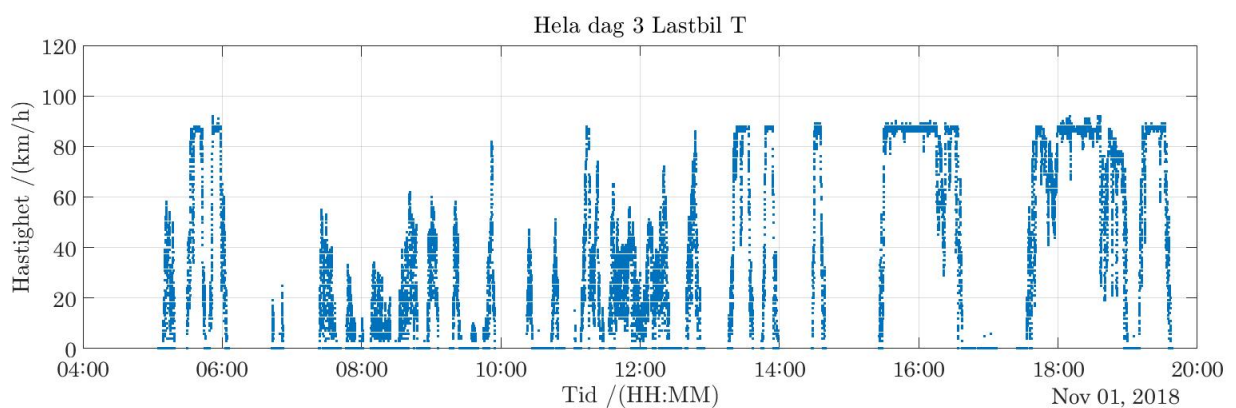
### A.2.1 Lastbil T



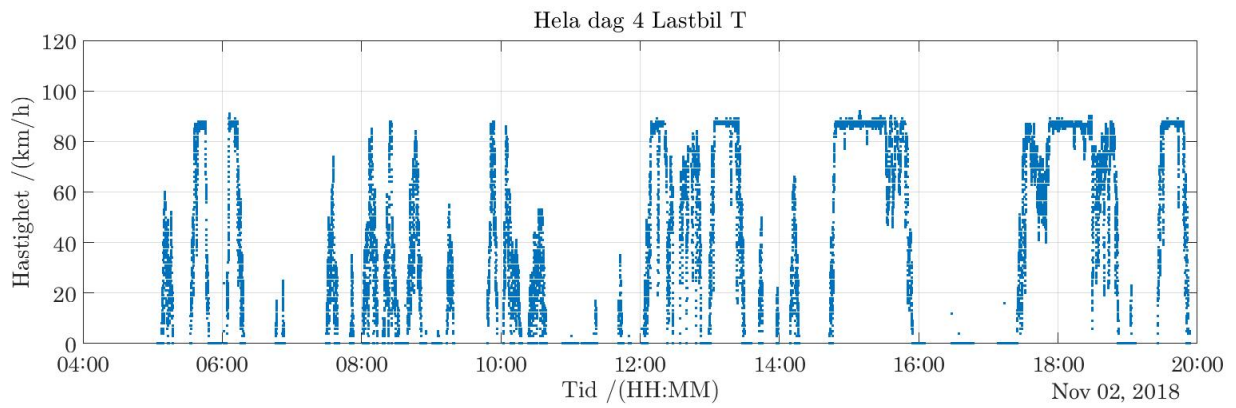
Figur A.6: Visar hastighetsprofil för hela dag 1 för lastbil T



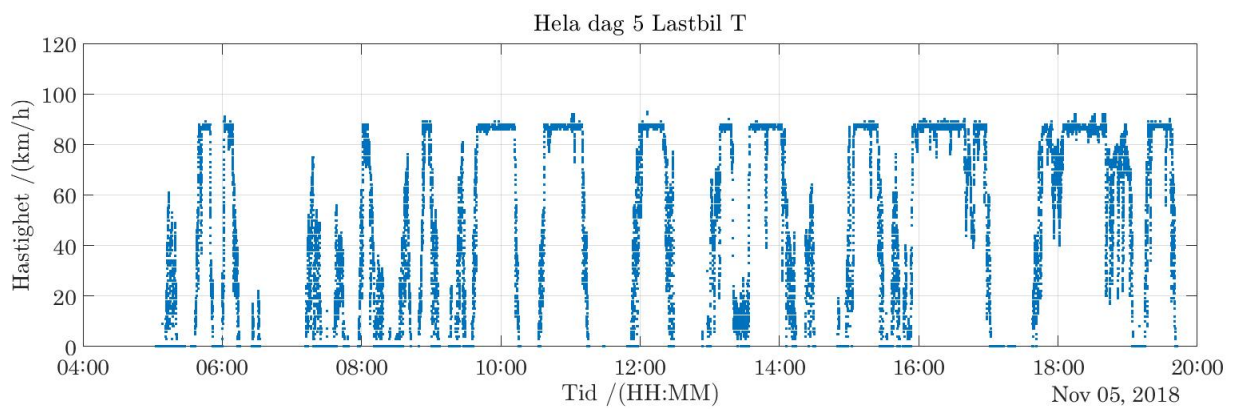
Figur A.7: Visar hastighetsprofil för hela dag 2 för lastbil T



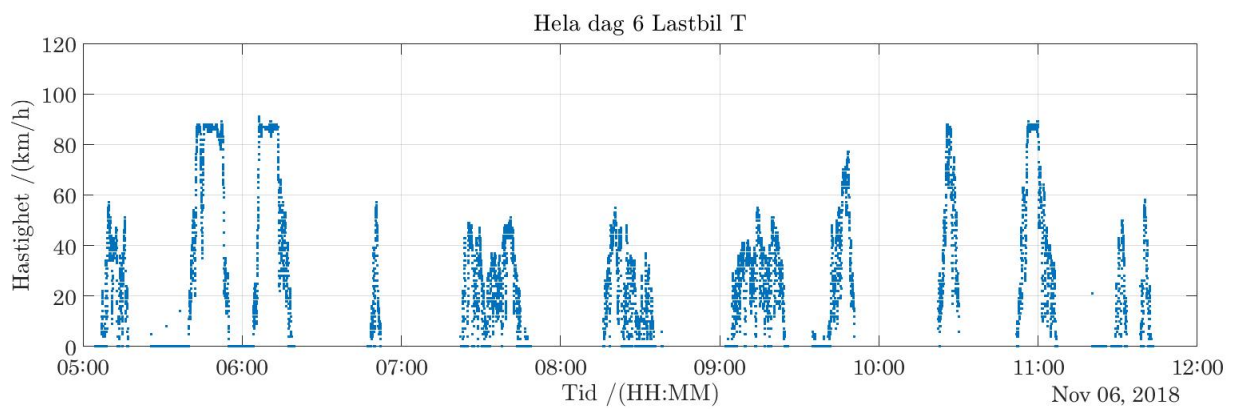
Figur A.8: Visar hastighetsprofil för hela dag 3 för lastbil T



**Figur A.9:** Visar hastighetsprofil för hela dag 4 för lastbil T

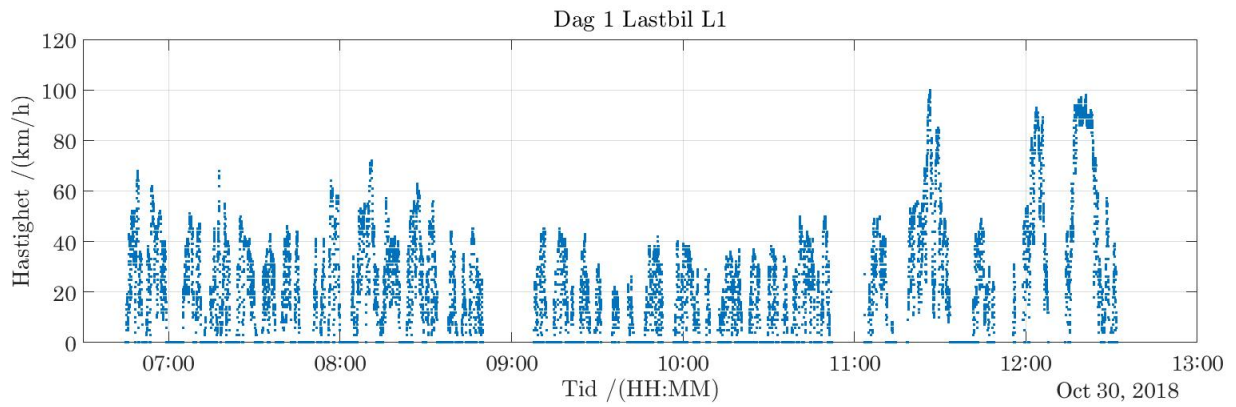


**Figur A.10:** Visar hastighetsprofil för hela dag 5 för lastbil T

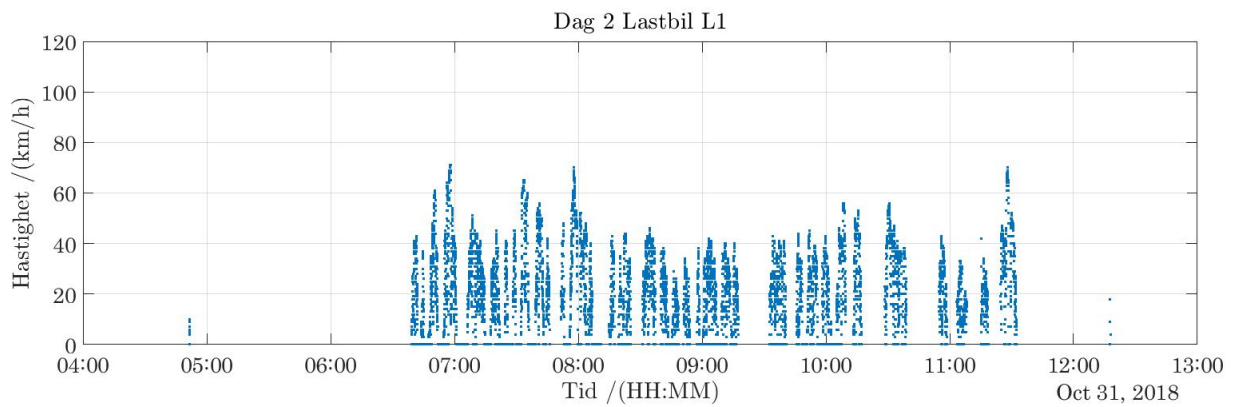


**Figur A.11:** Visar hastighetsprofil för hela dag 6 för lastbil T

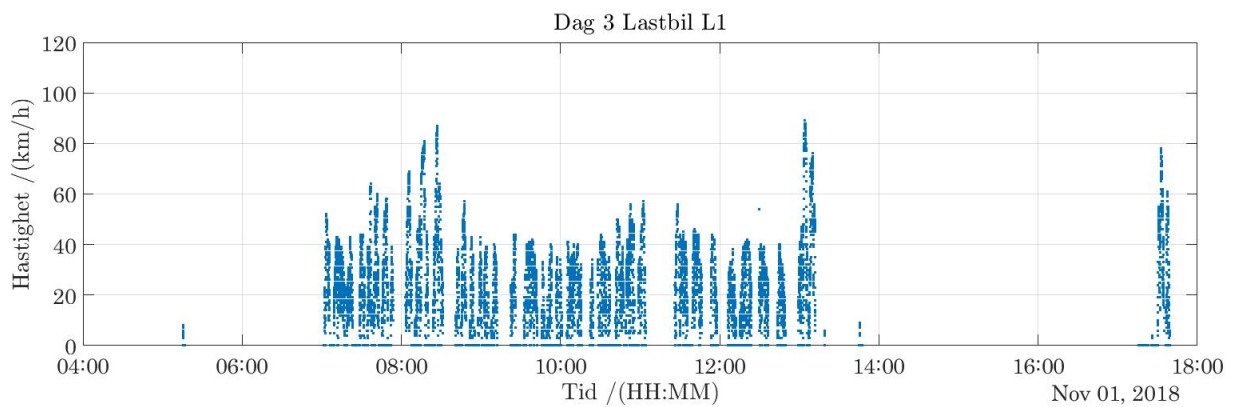
## A.2.2 Lastbil L1



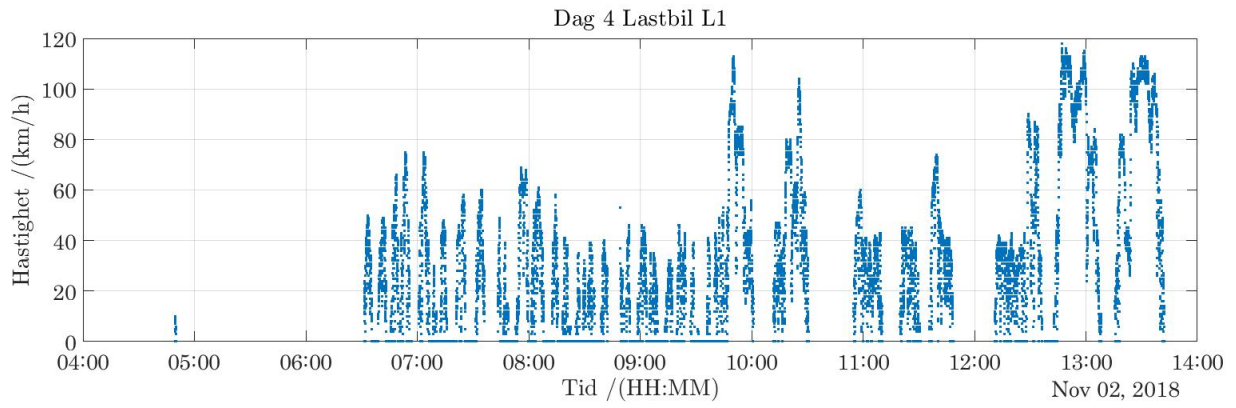
Figur A.12: Visar hastighetsprofil för dag 1 för lastbil L1



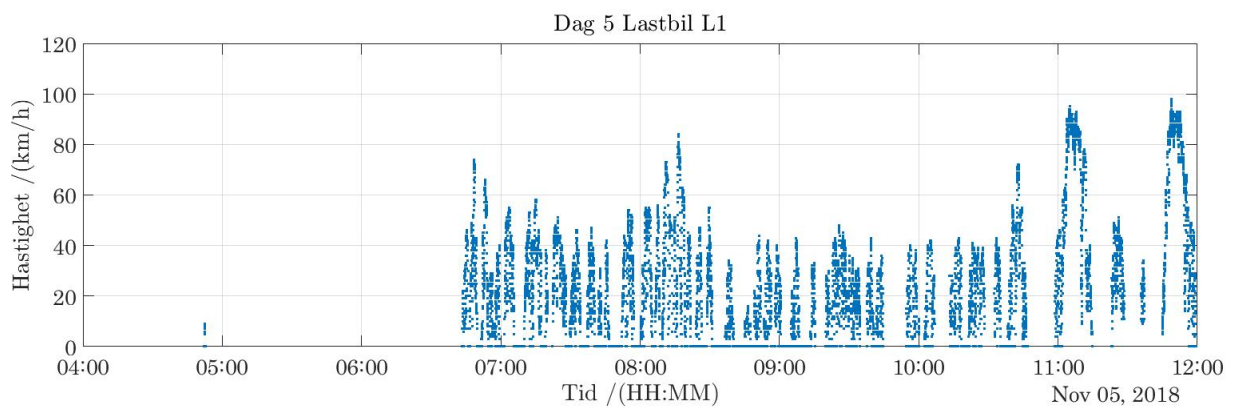
Figur A.13: Visar hastighetsprofil för dag 2 för lastbil L1



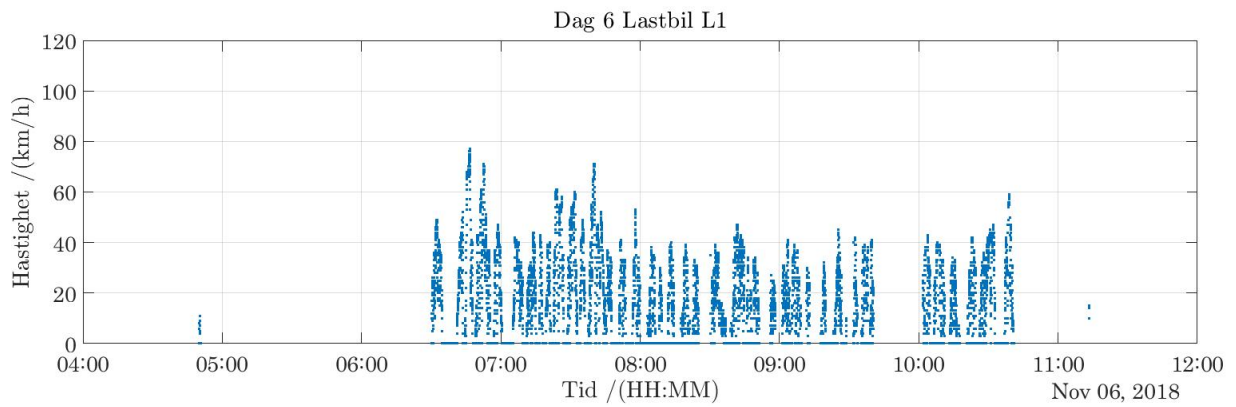
Figur A.14: Visar hastighetsprofil för dag 3 för lastbil L1



**Figur A.15:** Visar hastighetsprofil för dag 4 för lastbil L1

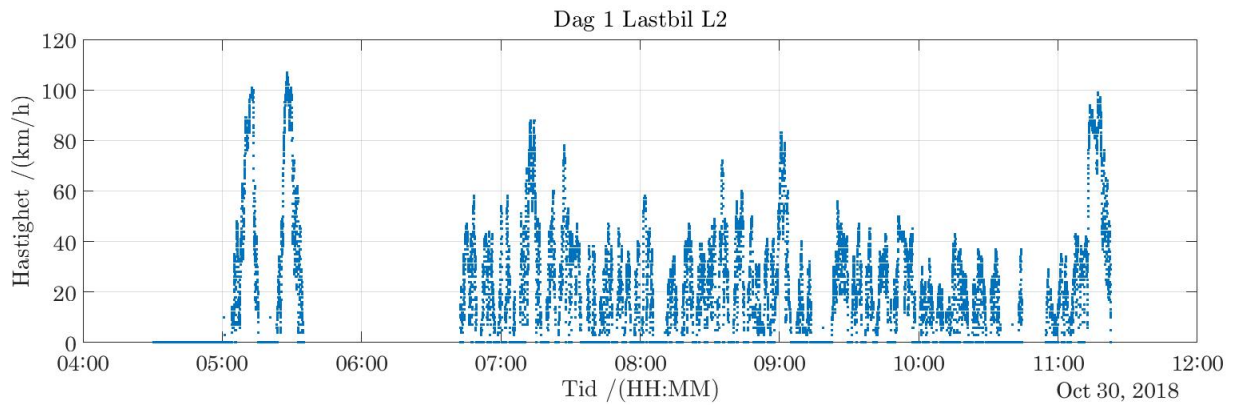


**Figur A.16:** Visar hastighetsprofil för dag 5 för lastbil L1

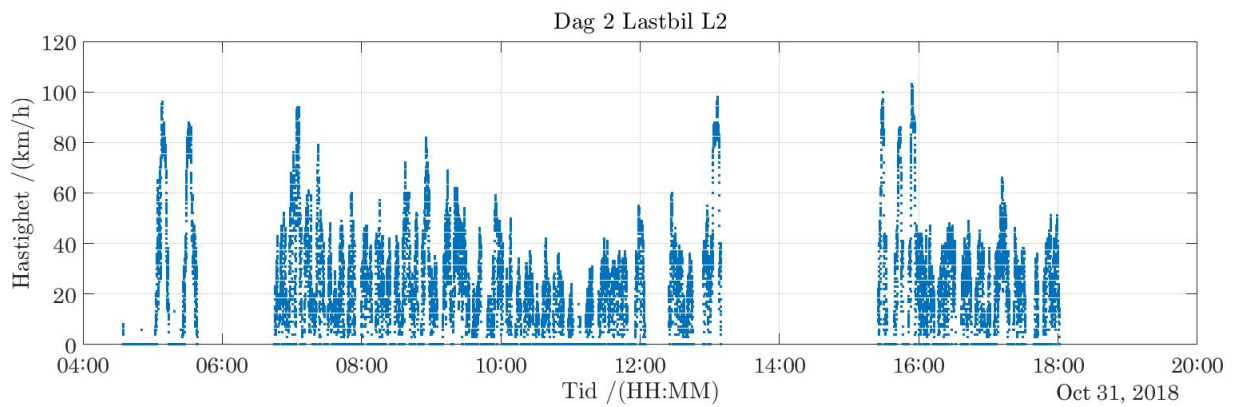


**Figur A.17:** Visar hastighetsprofil för dag 6 för lastbil L1

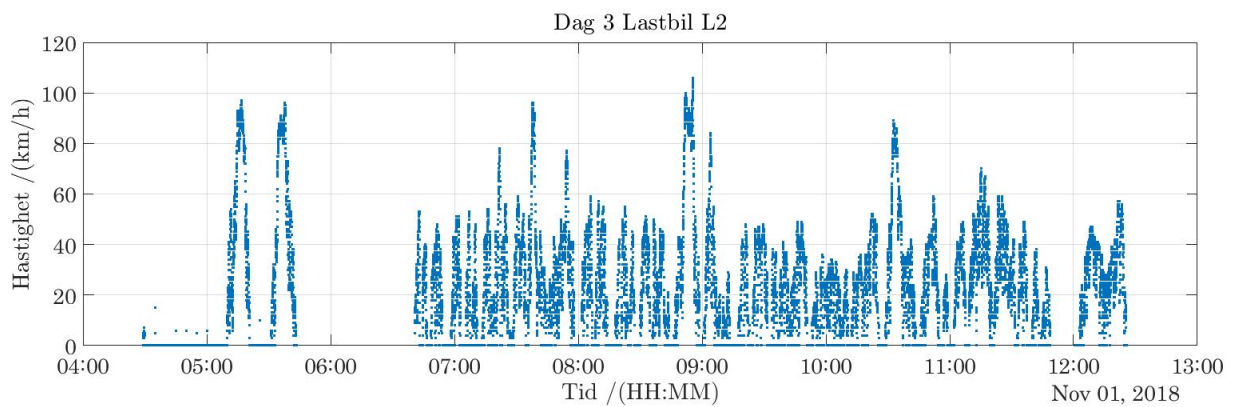
### A.2.3 Lastbil L2



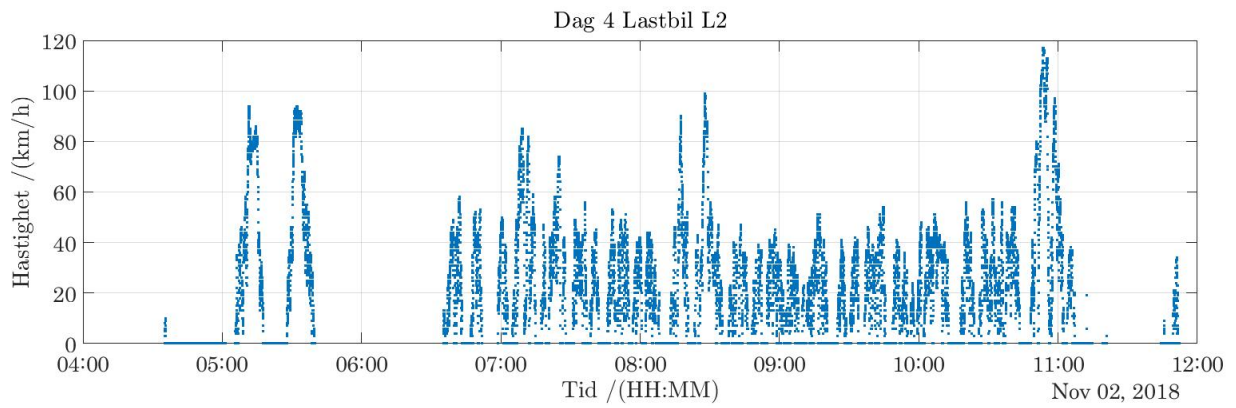
Figur A.18: Visar hastighetsprofil för dag 1 för lastbil L2



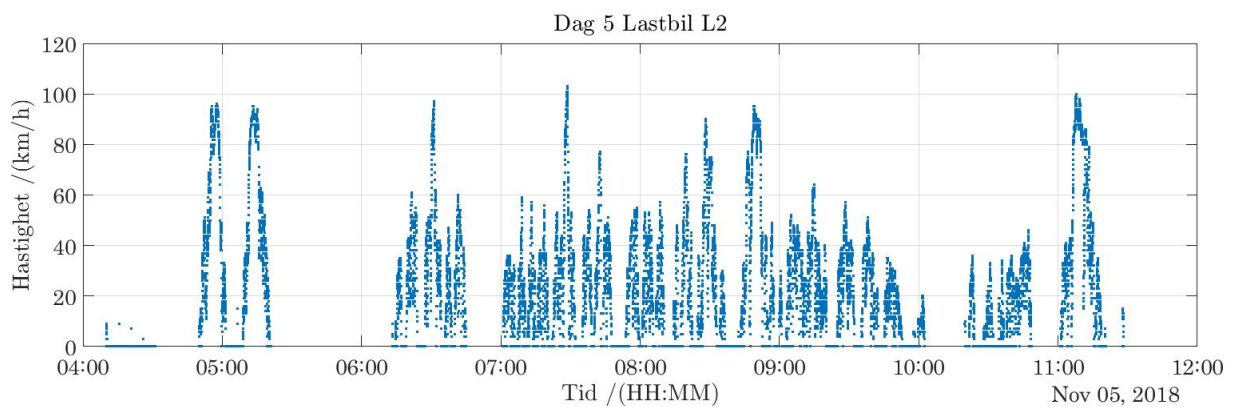
Figur A.19: Visar hastighetsprofil för dag 2 för lastbil L2



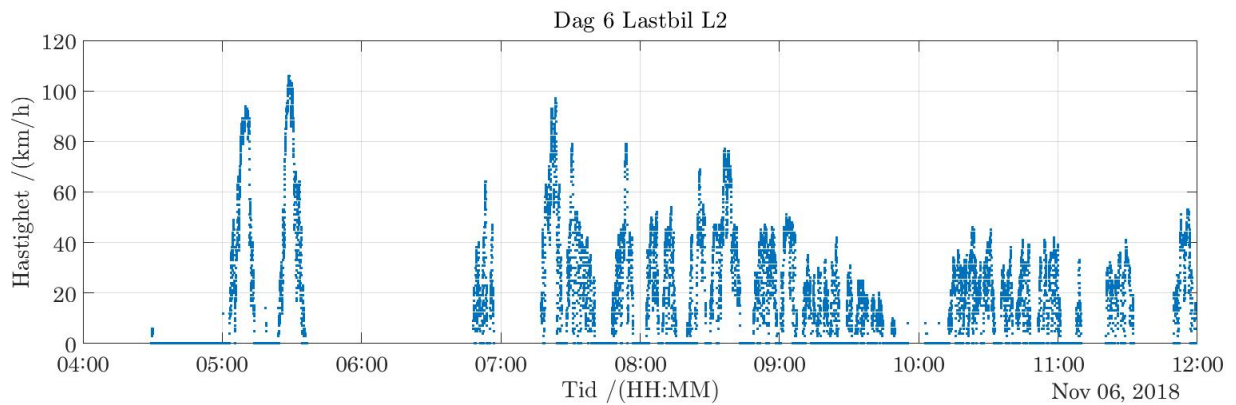
Figur A.20: Visar hastighetsprofil för dag 3 för lastbil L2



**Figur A.21:** Visar hastighetsprofil för dag 4 för lastbil L2



**Figur A.22:** Visar hastighetsprofil för dag 5 för lastbil L2



**Figur A.23:** Visar hastighetsprofil för dag 6 för lastbil L2