



CHALMERS



Långväga lastbilstransporter med batteribärande släp för längre räckvidd

En explorativ intervju- och simuleringsstudie om
elektrifiering av långväga transporter för svenska åkerier

Kandidatarbete inom Industriell ekonomi

FELIX BACKGÅRD
ANDREAS HAWERMAN
ALBIN JANSFELT

SAM NOBLE
ALEX PERSSON
VICTOR SVENSSON

INSTITUTIONEN FÖR TENIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR SERVICE MANAGEMENT & LOGISTICS

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se
Kandidatarbete TEKX04-21-16

Långväga lastbilstransporter med batteribärande släp för längre räckvidd

En explorativ intervju- och simuleringsstudie om elektrifiering av långväga transporter för svenska åkerier

Long distance truck-transport with battery carrying trailers for longer range

An explorative interview and simulation study regarding electrification long distance transports for Swedish hauliers

FELIX BACKGÅRD
ANDREAS HAWERMAN
ALBIN JANSFELT

SAM NOBLE
ALEX PERSSON
VICTOR SVENSSON

Långväga lastbilstransporter med batteribärande släp för längre räckvidd
En explorativ intervju- och simuleringsstudie om batteribärande släp som range
extender

FELIX BACKGÅRD	SAM NOBLE
ANDREAS HAWERMAN	ALEX PERSSON
ALBIN JANSFELT	VICTOR SVENSSON

© FELIX BACKGÅRD, 2021
© ANDREAS HAWERMAN, 2021
© ALBIN JANSFELT, 2021

© SAM NOBLE, 2021
© ALEX PERSSON, 2021
© VICTOR SVENSSON, 2021

Kandidatarbete TEKX04-21-16
Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag: en bild som representerar långväga batterielektriska lastbilstransporter, där
släpen kan tänkas vara batterielektriska range extenders.

Göteborg, Sverige 2021
Gothenburg, Sweden 2021

Long distance truck-transport with battery carrying trailers for longer range
An explorative interview and simulation study regarding electrification long distance transports for Swedish hauliers

FELIX BACKGÅRD	SAM NOBLE
ANDREAS HAWERMAN	ALEX PERSSON
ALBIN JANSFELT	VICTOR SVENSSON

Department of Technology Management and Economics
Chalmers University of Technology

SUMMARY

As a result of climate change, it is in the interest of most industries to reduce their climate impact. For the Swedish transport sector, this means transformation with a focus on sustainability and reduced emissions. The present exploratory report focuses on the part of the transport sector that includes long-distance transport with heavy trucks. Battery-electric powertrains in heavy trucks have the potential to reduce climate impact, but since current battery technology is not adequate for long-distance battery-electric transports, alternative solutions are required. One possible solution is to implement so-called battery electric range extenders, i.e. a technology that adds extra battery capacity to the carriage. The purpose of this report is to investigate whether hauliers with operations in Sweden can use battery-carrying trailers as a range extender to switch to long-distance battery-electric transports. In the report, a frame of reference has been established with theoretical models, information about truck traffic in Sweden and general electrification of transports in order to build an understanding of the subject and form the basis of the analysis. To fulfill the purpose, an interview study with Swedish hauliers and a simulation study with four potential scenarios for the use of the battery-carrying trailer have been carried out. The results showed that the transition to battery electric transports today is curbed by a number of barriers. These barriers are of a technical, financial, operational and political nature. An implementation of the battery-carrying trailer has implications. These concern a reduced dependence on public charging infrastructure, longer reach, changed planning conditions, changed capital structure as well as longer agreements and sustainable profiling for hauliers that adopt the innovation. The conclusion is that the battery-carrying trailer can bridge some of the barriers and thus facilitate the transition to long-distance battery-electric transports.

Keywords: battery carrying trailer, battery electric truck, BET, BEV, charging infrastructure, electrification, haulage industry, long-distance truck transport, range extender

Note: The report is written in Swedish.

SAMMANFATTNING

Till följd av klimatförändringar är det av intresse för de flesta branscher att minska sin klimatpåverkan. För den svenska transportsektorn innebär detta en transformation med fokus på hållbarhet och minskade utsläpp. Den föreliggande explorativa rapporten fokuserar på den del av transportsektorn som innefattar långväga transporter med tunga lastbilar. Batterielektriska drivlinor i tunga lastbilar har möjlighet att minska klimatpåverkan, men eftersom dagens batteriteknik inte är adekvat för långväga batterielektriska transporter krävs alternativa lösningar. En möjlig lösning är att implementera så kallade batterielektriska range extenders, det vill säga en teknologi som adderar extra batterikapacitet till ekipaget. Syftet med denna rapport är att undersöka huruvida åkerier med verksamhet i Sverige kan använda batteribärande släp som range extender för att övergå till långväga batterielektriska transporter. I rapporten har en referensram utformats med teoretiska modeller, information om lastbilstrafiken i Sverige samt generell elektrifiering i syfte att bygga förståelse för ämnet och ämnar ligga till underlag för analysen. För att uppfylla syftet har en intervjustudie med svenska åkerier samt en simuleringsstudie med fyra potentiella scenarier för nyttjandet av det batteribärande släpet utförts. Resultaten visade att övergången till batterielektriska transporter idag stävjas av ett antal barriärer. Dessa barriärer är av teknisk, finansiell, verksamhetsmässig och politisk natur. En implementation av det batteribärande släpet medför implikationer. Dessa berör ett minskat beroende av publik laddinfrastruktur, längre räckvidd, förändrade planeringsförutsättningar, förändrad kapitalstruktur samt möjligheter till längre avtal och hållbar profilering för åkerier som tillägnar sig innovationen. Slutsatsen är att det batteribärande släpet kan överbrygga vissa av barriärerna och således underlätta övergången till långväga batterielektriska transporter.

Nyckelord: batteribärande släp, batterielektrisk lastbil, BET, BEV, elektrifiering, laddinfrastruktur, långväga lastbilstransport, range extender, åkerinäring

Notera: Rapporten är skriven på svenska

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte	2
1.2	Frågeställningar	2
2	Metod	3
2.1	Processbeskrivning	3
2.2	Litteraturöversikt	3
2.3	Intervjustudie	4
2.3.1	Intervjuramens utformning	4
2.3.2	Urval av intervjurespondenter	5
2.3.3	Intervjustudiens utförande och presentation	5
2.4	Simuleringsstudie	5
2.4.1	Utformning av simuleringsstudien	6
2.5	Metodkritik	7
2.5.1	Intervjukritik	7
2.5.2	Inspelning och transkribering	8
2.5.3	Antaganden och prognoser	8
2.5.4	Kontakt med Scania	8
3	Referensram	9
3.1	Teoretiska modeller	9
3.1.1	Nätverkseffekter	9
3.1.2	Teknologisk inlåsning	9
3.1.3	Användarcentrerad spridningsteori	10
3.1.4	Spelteori	10
3.2	Litteraturgenomgång av batterielektriska fordon	11
3.2.1	Tung lastbilstrafik i Sverige	11
3.2.2	Batterielektriska personbilar	13
3.2.3	Batterielektriska bussar	14
3.2.4	Batterielektriska lastbilar – utbudet i nuläget	15
3.2.5	Batterielektriska lastbilar – prognoser för framtiden	16
3.3	Förutsättningar för batterielektriska transporter	17
3.3.1	Teknisk prestanda för batterier i elfordon	17
3.3.2	Batterielektriska lastbilar - energiförbrukning	17
3.3.3	Prognos av utvecklingen för BET under perioden 2025 till 2035	18
3.3.4	Kostnadsberäkningar för batterifordon	20
3.3.5	Efterfrågan på hållbara transporter	21
3.3.6	Laddinfrastruktur	22

3.3.7	Politiska styrmedel.....	22
3.3.8	Batteribärande släp som range extender	23
4	Åkerinäringens ställning till långväga batterielektriska transporter	24
4.1	Åkeriernas operativa verksamhet	24
4.2	Efterfrågan på hållbara transporter från transportköpare.....	25
4.3	Transportköparnas benägenhet att betala för hållbara transporter.....	25
4.4	Förutsättningar för att främja övergången till mer hållbara transporter	25
4.5	Tekniska aspekter som begränsar åkeriernas transporter	26
4.6	Osäkerheter rörande batterielektriska fordon för långväga transporter	26
4.7	Åkeriernas tankar om konceptet batteribärande släp.....	27
5	Simuleringsstudie	28
5.1	Scenario A: kort sträcka och låg variation.....	29
5.2	Scenario B: kort sträcka och hög variation.....	31
5.3	Scenario C: lång sträcka och låg variation	33
5.4	Scenario D: lång sträcka och hög variation	35
5.5	Analys av simuleringsstudie	38
6	Diskussion.....	42
6.1	Barriärer för elektrifiering av långväga batterielektriska transporter	42
6.1.1	Tekniska barriärer.....	42
6.1.2	Barriärer kopplade till laddinfrastruktur	43
6.1.2.1	Publik laddning, semi-publik laddning och depåladdning.....	43
6.1.2.2	Elnätet som barriär	45
6.1.3	Finansiella och marknadsmässiga barriärer	45
6.1.4	Avsaknad av långsiktigt politiskt ledarskap	45
6.1.5	Kompetens- och planeringsmässiga barriärer	46
6.2	Implikationer av batteribärande släp för åkerier.....	47
6.2.1	Längre räckvidd	47
6.2.1.1	Oberoende från publik laddinfrastruktur.....	48
6.2.2	Planeringsmässiga implikationer	48
6.2.3	Finansiella implikationer av ett batteribärande släp	49
6.2.4	Implikationer av batteribärande släp jämfört med andra laddningsstrategier.....	49
6.2.5	Djupare samarbeten och partnerskap	50
7	Slutsatser.....	51
	Källförteckning	53
	Bilaga 1. Intervjumall till intervjustudien.....	59
	Bilaga 2. Simuleringsberäkningar	60

Definitioner

Begrepp	Definition
Batterielektrisk lastbil (BET)	Stationärt laddbar lastbil där energin lagras ombord lastbilen.
Batterielektriskt fordon (BEV)	Stationärt laddbart fordon där energin lagras ombord fordonet.
Depå	Respektive åkeris utgångspunkt.
Depåladdning	Laddstationer belägna vid depåer, det vill säga åkeriernas utgångspunkt.
HVO	Hydrerad Vegetabilisk Olja (HVO) är en typ av biodiesel som kan ersätta eller blandas ut med vanlig diesel.
Laddinfrastruktur	Ett begrepp för den strategiska positioneringen av den tekniska utrustningen som erbjuder laddningsmöjligheter för elektriska fordon.
Laddstation	En geografiskt belägen plats där en eller flera laddstolpar för elektriska fordon är placerade.
Långväga transport	I denna rapport definieras långväga transport utifrån Rosqvist och Dickinsons (2012) som en fjärrtransport (inrikes linjetrafik) på över 100 km.
Publik laddning	Laddstationer där alla kan ladda sina elektriska fordon.
Range extender	Range extender är en teknologi som adderar ytterligare räckvidd till ett fordon.
Semi-publik laddning	Laddstationer belägna på terminaler och/eller depåer.
Stationär laddning	Laddning där fordonet står still.
Terminal	Avgångs- och ankomststation där lastning och/eller lossning av transportgods sker.
Trailer swapping	Ett förfarande där en chaufför byter släp vid slutdestination och hämtar ett nytt släp.
Tung lastbil	Lastbil med totalvikt som överstiger 3,5 ton.

1 Inledning

Till följd av accelererande klimatförändringar är det många branscher som arbetar intensivt för att minska miljöpåverkan. För fordonsindustrin innebär detta enligt Jonsson och Mattsson (2016) en omställning från fossila bränslen till mer hållbara alternativ. Sverige ligger idag långt fram vad det gäller klimatfrågor, men transportsektorn står enligt Energimyndigheten (2016) för 14 procent av de globala utsläppen och närmare en tredjedel av Sveriges utsläpp. Av inrikes utsläpp stod lastbilstrafiken för 29 procent av transportsektorns utsläpp under 2019 (Naturvårdsverket, 2020), vilket motsvarar cirka tio procent av de totala utsläppen i Sverige. För att reducera transportsektorns klimatpåverkan har regeringen satt upp mål som ämnar att minska utsläppen med 70 procent senast 2030 jämfört med 2010, för att därefter vara helt fossilfritt 2045 (Regeringskansliet, 2021).

Utöver utsläppen av växthusgaser konstaterar Naturvårdsverket (2020) att lastbilstrafik orsakar försurning av hav och insjöar. Naturvårdsverket (2020) konstaterar att åtta procent av Sveriges insjöar är försurade i dagsläget. Lastbilstrafik påverkar enligt Nerhagen et al. (2015) folkhälsan genom partiklar som uppstår vid däckslitage, vid inbromsning och vid förbränning av fossila bränslen. Exponering av dessa partiklar kan enligt Naturvårdsverket (2020) orsaka hjärt- och kärlsjukdomar samt lungcancer. Partiklars utsläppens samhällskostnad uppgår enligt Nerhagen et al. (2015) till 1 264 kr/kg utsläpp i storstäder.

Det som särskiljer lastbilstransporter från övriga godstransportslag är främst flexibiliteten då de klarar av både kort- och långväga transporter, vilket Jonsson och Mattsson (2016) beskriver. Batterielektriska transporter, BET, är en hållbar lösning för lastbilstrafiken där elektrisk energi lagras ombord lastbilen. Trafikverket (2021) menar att vid transporter kortare än 300 km utgör BET redan ett alternativ. BET innebär emellertid en större initial investeringskostnad jämfört med konventionella alternativ. Tekniken omgärdas av många osäkerheter såsom kapaciteten i elnätet, räckvidd och laddningsmöjligheter (Andrée et al., 2020). Vid långväga och tunga transporter är elektriska drivlinor i dagsläget inte adekvata jämfört med fossila drivlinor (Liimatainen et al., 2019). Earl et al. (2018) instämmer om den elektriska drivlinans brister, men tillägger att utvecklingen inom batteriteknik bedöms kunna möta kundkraven framgent.

Sveriges Åkeriföretag (2020) beskriver att åkerinäringen i Sverige främst består av företag med mindre än 100 anställda och att branschen präglas av låg lönsamhet. För att sprida ut de fasta kostnaderna på en större mängd transporterat material kräver åkerier en hög nyttjandegrad av sina lastbilar (Häll, 2002). BET behöver vara stationära en längre tid under laddning i förhållande till diesellastbilar (Scania, 2020a). Vid ett teknikskifte riskerar därmed en målkonflikt uppkomma mellan nyttjandegraden och tiden det tar att ladda. För att adressera en sådan målkonflikt kan alternativa lösningar vara aktuella.

Vidare förutspår Svenskt Näringsliv (2020) i en scenarioanalys att elanvändningen i samhället kommer att öka med 60 procent fram till 2045. År 2045 ska även samtliga transporter i Sverige vara fossilfria (Regeringskansliet, 2021). När mer el efterfrågas finns det risk för att den inte räcker under effekttoppar, därför finns det behov av att sprida ut effektuttaget (IVA, 2016).

Problem kopplat till räckvidd, nyttjandegrad, infrastruktur samt effektuttag skapar en möjlighet för alternativa lösningar. Lastbilstillverkaren Scania undersöker en sådan lösning där batterier monteras på ett lastbilssläp vilket kan fungera som range extender åt BET. Denna lösning har potential att

minska osäkerheterna med BET. Släp är stationära på terminaler i högre grad än lastbilar, vilket reducerar osäkerheter kring infrastruktur och möjliggör laddning utanför effekttoppar. Den extra kapaciteten som batterierna tillför bidrar även till en ökning av räckvidden. Detta kan vara en intressant lösning för åkerier och transportköpare som efterfrågar hållbara transporter.

1.1 Syfte

Rapportens syfte är att undersöka vilka implikationer ett batteribärande släp som range extender kan innebära för svenska åkerier samt om och hur åkerier kan använda ett batteribärande släp för att övergå till långväga batterielektriska transporter.

1.2 Frågeställningar

För att avgöra om och hur ett batteribärande släp kan möjliggöra ett skifte till långväga batterielektriska transporter måste dess barriärer undersökas. Det batteribärande släpet är beroende av BET och ämnar överbrygga vissa av teknikens barriärer. Det blir därför centralt att kartlägga vilka dessa barriärer är, för BET i allmänhet och långväga batterielektriska transporter i synnerhet. Utifrån detta resonemang har följande frågeställning formulerats:

- 1. Vilka är de främsta barriärerna för svenska åkerier mot att använda batterielektriska lastbilar för långväga transporter?*

Med utgångspunkt i första frågeställningen och med anledning att uppnå rapportens syfte är det av intresse att undersöka om och i vilken utsträckning ett batteribärande släp kan överbrygga dessa barriärer. Det är även betydelsefullt för ett åkeri att få kännedom om hur en implementation av ett batteribärande släp som range extender påverkar verksamheten. Dessa två påståenden i kombination ger anledning att djupare studera implikationerna av ett batteribärande släp som range extenders för svenska åkerier. Därav har följande frågeställning formulerats:

- 2. Vilka möjliga implikationer kan följa en användning av batteribärande släp som range extender för svenska åkerier?*

2 Metod

I detta kapitel presenteras metoddesignen vilken ämnar ge en översikt över rapportens struktur. Efter metoddesignen presenteras en processbeskrivning samt rapportens olika metoder. De metoder som användes för informationsinhämtning i rapporten är litteraturöversikt, intervjustudie samt simuleringsstudie. Resultaten som erhöles med de olika metoderna ämnar bygga underlag för att besvara rapportens frågeställningar. För att besvara första frågeställningen rörande barriärer utfördes en intervjustudie. Den andra frågeställningen rörande implikationer besvarades med hjälp av en simuleringsstudie. Litteraturöversikten ämnar komplettera både intervju- och simuleringsstudien för att besvara rapportens frågeställningar.

2.1 Processbeskrivning

Detta arbete gjordes möjligt av rapportens uppdragsgivare Magnus Blinge, Research Manager på Scania. I syfte till att skapa en god riktning för arbetet har Blinge varit delaktig i rapportens utformning. Även författarnas handledare har givit värdefulla synpunkter och stöttat författarna i rapportskrivandet.

Mängden tidigare forskning om batterielektriska långväga transporter är liten. Till en början lades därför mycket tid på att skapa en god förståelse kring området batterielektriska transporter. Detta bidrog till skapandet av ett välgrundat syfte med tillhörande frågeställningar.

Författarna arbetade under tre veckor med en planeringsrapport som låg till grund för slutrapporten. Därefter utformades en intervjuram i samarbete med två mastersstudenter på Linköpings universitet med samma uppdragsgivare, som undersöker olika möjligheter för att elektrifiera lastbilstransporter. Vidare utformades intervjuramen även till följd av intervjuer med experter inom ämnet elektrifiering, vilket redogörs för i kommande avsnitt. Parallellt med intervjustudien skapades en simuleringsstudie som tillsammans med intervjuramen utgjorde rapportens resultat. Två av respondenterna kontaktades via Blinge och resterande identifierades genom ett antal googlesökningar på svenska åkerier.

Intervjuerna utfördes inom en period av tre veckor och simuleringsstudien pågick under fyra veckor. När resultaten sammanställdes förde författarna en diskussion kring resultaten utifrån teoretiska modeller och information från referensramen. Därefter identifierades ett antal slutsatser som kunde dras. Slutligen skrev författarna ett sammandrag och ett avslutande kapitel kring intressanta områden för vidare forskning. Alla delar i rapporten återbesöktes för bearbetning flertalet gånger under arbetets gång. Sammanlagt har det tagit författarna 17 veckor att genomföra arbetet.

2.2 Litteraturöversikt

Syftet med litteraturöversikten är att presentera information för användning i rapportens diskussion. Litteraturöversikten presenteras i referensramen och är uppdelad i tre delar varav den första delen beskriver teoretiska modeller som är relevanta för rapportens analys, den andra delen kartlägger litteraturgenomgång av batterielektriska fordon och den tredje delen undersöker förutsättningar för batterielektriska transporter. Få studier har gjorts kring batterielektriska lastbilar, därav söktes kunskap inom angränsande delar av transportsektorn och dess elektrifieringsprocesser. För att klargöra vilken information som är relevant för rapporten utfördes intervjuer med experter inom ämnet elektrifiering, vilket redogörs för senare.

Genom att använda de databaser och sökord som presenteras i Tabell 2.1 fann författarna rapporter och artiklar som bidrog till att skapa en bred kunskapsbas. Information från de källor som hittades valdes ut beroende på hur stark kopplingen var till rapportens syfte, därefter kunde utformningen och innehållet av en referensram bearbetas.

Tabell 2.1: Sammanställning av sökord som har använts vid informationsinsamling från databaserna Google scholar och Scopus. De flesta sökord har även sökts på engelska.

Google scholar	Scopus
Batterielektrisk lastbil	Batterielektrisk lastbil
Batterielektriskt fordon	Batterielektriskt fordon
Elnät	Laddinfrastruktur
Depåladdning	Litiumjonbatteri
Efterfrågan hållbara transporter	Litiumsvavelbatteri
Laddinfrastruktur	Litiumluftbatteri
Laddstation	Långväga transport
Lagstiftning lastbilar	Långväga tung batterilastbil
Litiumjonbatteri	Range extender
Litiumsvavelbatteri	Reduktionsplikt
Litiumluftbatteri	Rogers S-kurva
Långväga transport	Spridningsteori
Långväga tung batterilastbil	Stationär laddning
Nash-jämnvikt	
Nätverkseffekter	
Publik Laddning	
Range extender	
Reduktionsplikt	
Semi-publik laddning	
Stationär laddning	
Trailer swapping	
Rogers S-kurva	
Spridningsteori	
Sverige reglering elnät	

2.3 Intervjustudie

En intervjustudie genomfördes för att besvara rapportens frågeställningar. Syftet med intervjustudien var primärt att samla in kvalitativa data från åkerier kopplat till rapportens frågeställningar. För att uppnå rapportens syfte och besvara frågeställningarna var det väsentligt att få förståelse för betydelser och mönster i ett komplext sammanhang.

Den intervjusteknik som valdes för intervjuerna var semi-strukturerad intervjusteknik. Semi-strukturerad intervjusteknik utgår från ett antal frågor som skall besvaras, men ordningen på frågorna är flexibel och ytterligare frågor anpassade till respondenten kan läggas till under intervjun (Denscombe, 2010).

2.3.1 Intervjuramens utformning

Utformningen av intervjuramen ämnade uppmuntra diskussion med syftet att erhålla svar som kan användas till att besvara rapportens frågeställningar. Intervjuramen är uppdelad i fem delar: verksamhet, marknad, politik och teknik samt en presentation av batteribärande släp som range

extender. Den första delen behandlade frågor om verksamheten och syftade till att skapa en bild av åkeriernas behov och krav kopplade till deras transporter samt förutsättningar för att elektrifiera transporterna.

De tre följande delarna, marknad, politik och teknik, syftade till att studera de möjligheter och utmaningar som finns vid en omställning till batterielektriska långväga transporter. Den sista delen i intervjuramen behandlar konceptet med batteribärande släp som range extender. Respondenten fick ta del av konceptet och gav sedan sina synpunkter. Intervjuramen och intervjufrågorna återfinns i Bilaga 1.

2.3.2 Urval av intervjurespondenter

Totalt omfattade intervjustudien nio djupintervjuer. För att utarbeta en intervjuram som bidrar till att besvara rapportens frågeställningar var en bred kunskapsbas nödvändig. Därför intervjuades två personer med bred kompetens inom elektrifiering av transportsektorn som bidrog till en övergripande bild. För att öka förståelsen för konceptet med batteribärande släp utfördes även en intervju med en person som varit framträdande i Scantias specifika lösning med batteribärande släp. Dessa tre inledande intervjuer användes sedan för att utarbeta såväl referensram som intervjuram för kommande intervjuer med åkerier.

Åkerierna i intervjustudien valdes till följd av deras tydliga hållbarhetsprofil och ansågs därmed vara sannolika tidiga användare av batteribärande släp. De sex intervjuerna som genomfördes var med en anställd från respektive åkeri. Dessa åkerier var av varierande storlek, där flertalet använder alternativa drivlinor i den egna verksamheten. Åkerierna valdes med anledning att skapa en bred bild av åkerinäringen vilket ämnar ge en nyanserad diskussion. Respondenten från respektive åkeri valdes med anledning att de dels arbetade nära den operativa verksamheten, dels hade inblick i åkeriets hållbarhetsutveckling. Således kunde respondenten både ge information om verksamheten samt hur utvecklingsarbetet för hållbara transporter ser ut.

2.3.3 Intervjustudiens utförande och presentation

Intervjuerna utfördes digitalt och spelades in via Microsoft Teams eller Zoom. Vilket digitalt mötesverktyg som användes var enligt respondentens preferens. Vid varje intervju deltog två till fyra av rapportens författare. Intervjuerna var utformade att ta cirka en timme. Det praktiska genomförandet visade en variation i intervjutiden, där intervjuerna varade mellan 40 och 80 minuter.

Efter samtliga intervjuer utfördes transkribering. Syftet med transkriberingen var att lättare delge intervjuerna med resterande författare till rapporten som inte närvarade vid intervjun, samt för att sammanställa informationen. Transkriberingen utfördes genom att en av författarna lyssnade på den inspelade intervjun och skrev ned exakt vad som sades. Transkriberingen var viktig för arbetet, då den bidrog till bättre förståelse för informationen samt underlättade sökning av data vid analys och presentation av resultat.

Resultatet som erhöles från intervjuerna presenterades i resultatavsnittet som tvärsnitt, där samtliga respondenters svar redogjordes för i samma stycke. Syftet var att lägga fokus på jämförelsen mellan de olika respondenternas svar.

2.4 Simuleringsstudie

För att besvara vilka implikationer ett batteribärande släp kan innebära för åkerier samt identifiera ytterligare barriärer utfördes en simuleringsstudie. Detta gjordes för att identifiera hur det

batteribärande släpet står sig kostnadsmässigt mot andra strategier för elektrifiering samt hur bruksmönster påverkar ett elektrifierat ekipage. Kostnadsberäkningarna grundades på en föreläsning av Anders Grauers, docent vid Chalmers tekniska högskola, som genomfördes år 2020 på Lindholmens Science Park. Simuleringsstudien utgår från prognoser för batteripriser år 2030 där utvecklingen antogs linjär och beräknats för 2025. Detta valdes då ett batteribärande släp kan vara intressant i ett kortare perspektiv innan tillräcklig snabbbladdningsinfrastruktur är utbyggd samt lastbilarnas räckvidd tillåter långväga transporter. Antaganden i simuleringen baseras på olika källor såsom rapporter från myndigheter, organisationer samt i samråd med Scania.

2.4.1 Utformning av simuleringsstudien

Simuleringsstudien består av fyra scenarion som presenteras i Figur 2.1. Figuren har fyra fält där den horisontella axeln innefattar körsträcka per dag som varierar mellan 250 och 500 km omvandlat till en energiförbrukning på 300 respektive 600 kWh. Dessa omvandlingar beräknades genom att multiplicera sträckan med elförbrukningen av en batterielektrisk lastbil vilket antogs vara 1,2 kWh/km, i enlighet med Scantias nysläppta batterielektriska lastbil (Scania, 2020b). Den vertikala axeln innefattar variation i körsträcka och varierar mellan låg och hög nivå. Låg nivå på körsträcka motsvarar 250 km och motiveras av att 91 procent av alla transporter är kortare än 300 km enligt Sveriges Åkeriföretag (2020). Med variation inräknat kommer då majoriteten av körsträckorna vara under 300 km. Sträckan 500 km valdes med anledning att det utgör en genomsnittlig daglig körd sträcka för vissa av intervjurespondenterna. Det är en räckvidd som i nuläget inte uppnås med de batterielektriska lastbilarna som finns på marknaden.

Variation i daglig energiförbrukning

Hög	Scenario B: <i>Medelv. = 300 kWh,</i> <i>stdav. = 50 kWh</i>	Scenario D: <i>Medelv. = 600 kWh,</i> <i>stdav. = 100 kWh</i>
	Scenario A: <i>Medelv. = 300 kWh,</i> <i>stdav. = 25 kWh</i>	Scenario C: <i>Medelv. = 600 kWh,</i> <i>stdav. = 50 kWh</i>
Låg	Låg	Hög

Genomsnittlig daglig energiförbrukning

Figur 2.1: Illustration av fyrfältaren som beskriver BET i fyra olika scenarier.

Standardavvikelsen för Scenario A och C med låg variation är 25 respektive 50 kWh för att efterlikna fordon med dagligt återkommande rutter. För Scenario B och D med hög variation är standardavvikelsen 50 respektive 100 kWh och ska efterlikna verksamheter med mer efterfrågestyrda körscheman. Standardavvikelsen har i samtliga scenarier varit proportionerlig mot daglig förbrukning och uppgår till åtta respektive 16 procent.

För att ytterligare styrka valet av standardavvikelse i förhållande till medelvärde går det att jämföra variationskoefficienten. Variationskoefficienten används för att få en standardiserad variation mellan de höga och låga sträckorna och beräknas som kvoten mellan standardavvikelse och medelvärde. Scenario A och C hade olika genomsnittlig daglig energiförbrukning, men båda klassificerades som låg variation i daglig energiförbrukning. Även fast standardavvikelsen i de två fallen inte var

densamma i absoluta tal hade de ändå liknande variationskoefficient, vilket betyder att variationen i förhållandet till medelvärde var densamma. På liknande sätt gäller jämförelsen mellan Scenario B och D. Variationskoefficienten i fallet med låg variation beräknades i båda fallen vara drygt åtta procent medan hög variation beräknades den till det dubbla.

Utifrån ovan nämnda scenarier utfördes fyra olika simuleringar av ett ekipage under tio års tid. Lastbilens användningstid antogs vara 2 600 dagar, vilket utgår från att lastbilen är aktiv 260 dagar om året och körs av ett åkeri i tio år. Simuleringarna antogs vara normalfördelade med kända medelvärden och standardavvikelser. Normalfördelning valdes då simuleringarna antogs vara uppskattningar och förenklingar av verkligheten. Dessutom antogs det lika troligt att en lastbil kör en standardavvikelse längre än medelvärdet som att den kör en standardavvikelse kortare än medelvärdet.

2.5 Metodkritik

I avsnittet presenteras kritik av rapportens metoder och utifrån det presenteras den arbetsgång som valdes för att hantera dessa svagheter.

2.5.1 Intervjukritik

Intervjustudie är en lämplig metod vid kvalitativa studier för att förstå innebörden av mönster, åsikter, känslor och erfarenheter i ett mer komplext sammanhang (Denscombe, 2010; Eriksson & Wierdersheim-Paul, 2014). Det finns emellertid ett antal farhågor kopplade till intervjustudier. En sådan farhåga är intervjueffekten. Intervjueffekten är en effekt som innebär att respondentens svar påverkas av respondentens uppfattning av intervjuerna. Respondentens svar kan bland annat påverkas av intervjuernas beteende samt kunskap och erfarenhet inom området som studeras (Denscombe, 2010). För att resultatet inte skulle påverkas negativt av intervjueffekten genomfördes ett antal åtgärder. Dessa åtgärder bestod av noggranna förberedelser inför intervjuerna i form av en grundligt genomarbetad intervjuram med inledning, frågor och avslutning. Dessa delar var objektivt utformade för att undvika att påverka respondentens svar.

Eftersom tid var en begränsande faktor under arbetets gång effektiviserade författarna arbetet genom att bredda sin kompetens inom olika områden rörande rapportens syfte. Två till fyra av rapportens författare deltog vid varje intervju och således fanns en bred kunskapsbas vilket bidrog till att intervjuerna blev nyanserade. Antalet intervjuare begränsades till maximalt fyra av rapportens författare, dels för att det fanns arbete att göra parallellt och dels för att fler än fyra författare kan skapa en oppositionslysten intervjumiljö.

Då endast sex åkerier deltog i intervjustudien går det inte dra statistiska slutsatser av resultatet. Studiens explorativa utformning och kvalitativa metoder erbjuder istället generella slutsatser som kartlägger respondenternas handlingar och ämnar finna mönster, åsikter, känslor och erfarenheter kopplade till handlingarna.

Samtliga åkerier som tillfrågades i intervjustudien var relativt stora i antal anställda och omsättning i förhållande till ett generellt åkeri i Sverige. Det faktum att åkerierna var av varierande storlek nyanserar resultatet även om det inte kan extrapoleras till hela åkeribranschen då mindre aktörer saknas i underlaget. Valet av åkerier planerades noggrant med anledningen att finna möjliga tidiga användare till batterielektriska transporter och det batteribärande släpet samt åkerier med engagemang inom hållbara transporter.

2.5.2 Inspelning och transkribering

För att delge resterande författare erhållna svar spelades intervjuerna in för att därefter transkriberas. Enligt Denscombe (2010) finns det en risk för att respondenter känner sig hindrade att svara ärligt när de spelas in. För att säkerställa att respondenten kände sig trygg att förtälja sin åsikt vidtogs ett antal primära åtgärder. Först tillfrågades respondenten tidigt om tillåtelse att spela in intervjun. Sedan klargjordes att informationen som delgavs endast används i rapporten om respondenten tillät detta. Slutligen underrättades samtliga respondenter att de skulle anonymiseras i rapporten. Andra åtgärder som vidtogs var att inledningsvis presentera intervjuerna, informera om rapportens syfte samt inleda intervjun med öppna frågor som ämnade göra respondenten trygg.

Som tidigare nämnt transkriberades samtliga respondenters svar. Transkribering är tidskrävande och det finns risk att ljudupptagningen är otydlig. Detta problem undveks genom noggrann planering av transkriberingen samt användande av adekvat utrustning för att spela in intervjuerna. Vid transkribering kan det vara svårt att få med respondentens känslor och betoningar. För att säkerställa att känslor och betoningar noterades vid transkriberingen verifierades transkriberingen av samtliga intervjuare som deltog under intervjun.

2.5.3 Antaganden och prognoser

Under simuleringsstudien etablerades ett antal antaganden kopplat till släpet, eftersom det saknas tidigare litteratur om det batteribärande släpet som range extender. Ytterligare antaganden gjordes för laddinfrastruktur och batteripris. Antaganden rörande batteripris och energidensitet utgår från prognoser för åren 2025 och 2030 som interpolerats till år 2025. Det finns därför en risk att tillförlitligheten minskar. Således bör det kvantitativa resultatet i simuleringsstudien tolkas med försiktighet.

2.5.4 Kontakt med Scania

Under arbetets gång fördes kontinuerlig kontakt med uppdragsgivaren vilket har en risk att generera partiskt resultat. För att undvika partiskhet bekräftades samtlig information som förmedlades av oberoende litteratur.

3 Referensram

Detta kapitel innehåller teoretiska modeller relevanta för rapportens analys samt en genomgång av litteratur kopplad till elektrifiering av transportsektorn och lastbilstrafik i Sverige.

3.1 Teoretiska modeller

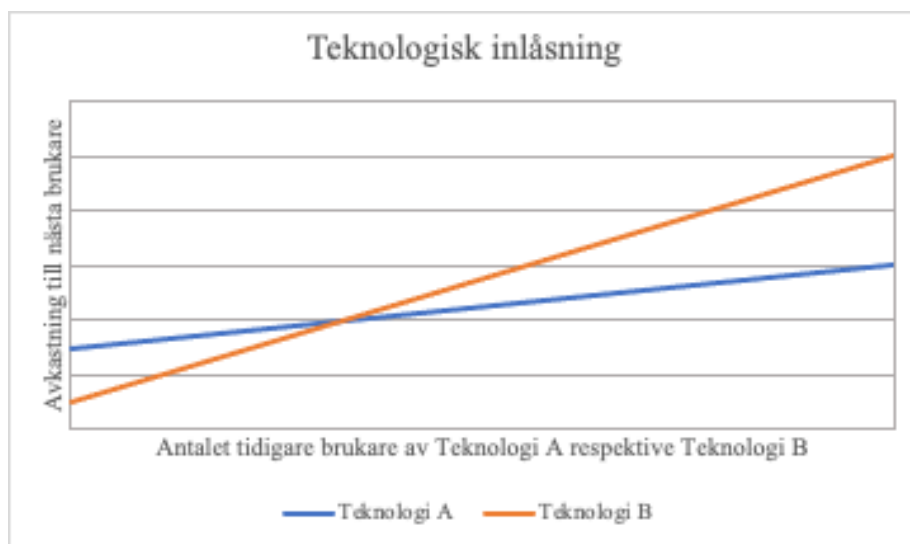
Avsnittet behandlar relevanta modeller för rapportens analys. Modeller som presenteras är nätverkseffekter, teknologisk inlåsning, användarcentrerad spridningsteori och spelteori.

3.1.1 Nätverkseffekter

Enligt Stobierski (2020) uppstår nätverkseffekter i varje situation där värdet på en produkt, tjänst eller plattform direkt eller indirekt beror på antalet köpare, säljare och användare. När värdet ökar med antalet köpare, säljare eller användare så kallas det för positiv nätverkseffekt. Ett exempel på positiv nätverkseffekt är enligt Stobierski (2020) sociala medier. När värdet minskar med antalet köpare, säljare eller användare så kallas det för negativ nätverkseffekt. Enligt Mofatt (2019) är ett exempel på negativ nätverkseffekt publika transportsystem då en transportör skapar trängsel för en annan. Enligt Granstrand (2018) går det koppla nätverkseffekter till teknologisk inlåsning.

3.1.2 Teknologisk inlåsning

Val av teknologi innebär farhågor för en marknad likväl som producenterna av en produkt och/eller tjänst. Denna farhåga kan illustreras med hjälp av Granstrand (2018) definition av teknologisk inlåsning som visas i Figur 3.1. Figur 3.1 redogör för att Teknologi A har högre marginalavkastning initialt jämfört med Teknologi B. Eftersom Teknologi A har högre initial avkastning kommer nästa brukare att välja denna teknologi. Detta gör att Teknologi A fortsatt väljs och således bli den teknologiska standarden, trots att nätverkseffekterna och den potentiella nyttan för teknologi B är större.



Figur 3.1: Modifierad illustration av teknologisk inlåsning (Granstrand, 2018). I illustrationen har teknologi A högre marginalavkastning initialt och blir således den teknologiska standarden på grund av nätverkseffekter.

Fenomenet som illustreras i Figur 3.1 kallas enligt Granstrand (2018) teknologisk inlåsning. Det gäller alltså för marknaden att välja den teknologi som kommer bli den teknologiska standarden. Vad Figur 3.1 även visar är att teknologisk inlåsning kan leda till marknadsmisslyckande genom att en underlägsen teknik blir den teknologiska standarden enbart eftersom den har högre marginalavkastning initialt. Marknadsmisslyckanden av denna karaktär kan undvikas med hjälp av statliga styrmedel, såsom subventioner till överlägsna teknologier och beskattning av underlägsna teknologier (Granstrand, 2018).

3.1.3 Användarcentrerad spridningsteori

Rogers (2003) beskriver spridningsprocessen som hur en innovation kommuniceras genom specifika kanaler över tid till medlemmarna i ett socialt system. Vidare definieras det sociala systemet som en mängd inbördes relaterade enheter som tillsammans är engagerade mot ett gemensamt mål. Spridningen av en innovation sker, trots innovationens upplevda fördelar, ofta mycket långsamt. Ytterligare pekas fyra faktorer ut som kan påskynda processen: relativa fördelar, kompatibilitet, komplexitet och testbarhet.

De relativa fördelarna motsvarar i vilken utsträckning en innovation upplevs vara bättre än dess föregångare (Rogers, 2003). Kompatibiliteten förklaras som vilken grad innovationen upplevs vara överensstämmande med existerande värderingar, normer, tidigare erfarenheter och faktiska behov hos potentiella användare. En innovations komplexitet omfattar i vilken utsträckning den upplevs vara lätt att förstå och använda. Testbarheten för en innovation är i vilken utsträckning den kan testas. Innovationer som kan testas bidrar till mindre osäkerheter och möjliggör en inläringseffekt. Tillsammans bidrar stora relativa fördelar, hög kompatibilitet, låg komplexitet och hög testbarhet till snabbare spridning i systemet.

Centralt i Rogers (2003) teoribildande är den kända S-kurvan. Kurvan delar upp en population i fem olika sorters aktörer, som följer en normalfördelning. Den första gruppen kallas för innovatörer. De karaktäriseras av en stor vilja att pröva nya idéer och innovationer. Nästa grupp kallas tidiga användare och delar många av innovatörens karaktärsdrag. De kan övertygas av användbarheten av nya innovationer. Denna grupp har ett stort inflytande på det sociala systemet, och de spelar en betydande roll genom att minska osäkerheter. Den tidiga majoriteten tillägnar sig innovationer kort innan resten av medlemmarna i det sociala systemet och kräver generellt längre betänketid än innovatörer eller tidiga användare. Den sena majoriteten tillägnar sig inte en innovation innan de flesta inom det sociala systemet har gjort det. De är mindre riskbenägna och har mindre finansiella resurser. Den sista gruppen benämns efterslänrare och de är sist inom det sociala systemet att tillägna sig innovationen. De är misstänksamma mot innovationer och nymodigheter. Detta rationaliseras oftast av begränsade resurser.

3.1.4 Spelteori

Det spelteoretiska ramverket behandlar hur interagerande spelare eller aktörer med egenintresse brukar olika strategier för egen nyttomaximering (Granstrand, 2018). Resultatet av spelet bestäms av kombinationen av strategier spelarna väljer över tid. Spelets mekanismer kan förklaras med exemplet fångarnas dilemma, som illustreras nedan i Tabell 3.1. Två fångar, A och B, har tillsammans begått ett brott och står inför ett val att vittna eller att ej vittna mot sin medbrottsling. Om A vittnar mot B blir A frikänd och vice versa. Om A vittnar får B tio års fängelse och om B vittnar får A tio års fängelse. Vittnar båda får de två års fängelse vardera och om båda håller tyst får de sex månader (Granstrand, 2018).

Tabell 3.1: Illustrering av fångarnas dilemma där två entiteter försöker maximera sin egen vinning och därav suboptimerar en situation.

	A Vittnar ej	A Vittnar
B Vittnar ej	Båda får 6 månader	A friges, B får 10 år
B Vittnar	B friges, A får 10 år	Båda får 2 år

Dilemmat bygger på antagandet om egenintresse och nyttomaxering. Båda vill minimera sin tid i fängelse, och det finns inget motiv för A eller B att hjälpa sin medbrottsling. Det blir därför rationellt för båda brottslingarna att vittna, trots att det optimala hade varit att ingen vittnar (Granstrand, 2018). Ett centralt begrepp inom spelteorin är Nash-jämvikt. Konceptet beskrivs av Holt och Roth (2004) som den strategikombination för vilken ingen spelare har incitament att byta från dess egna optimala strategi om inte den andra spelaren gör det. I tabell 3.1 uppstår Nash-jämvikt när båda fångarna vittnar.

3.2 Litteraturgenomgång av batterielektriska fordon

Detta avsnitt avser ge läsaren en grundläggande förståelse kring tung lastbilstrafik och hur batteriteknik har tillämpats på personbilar, bussar och lastbilar.

3.2.1 Tung lastbilstrafik i Sverige

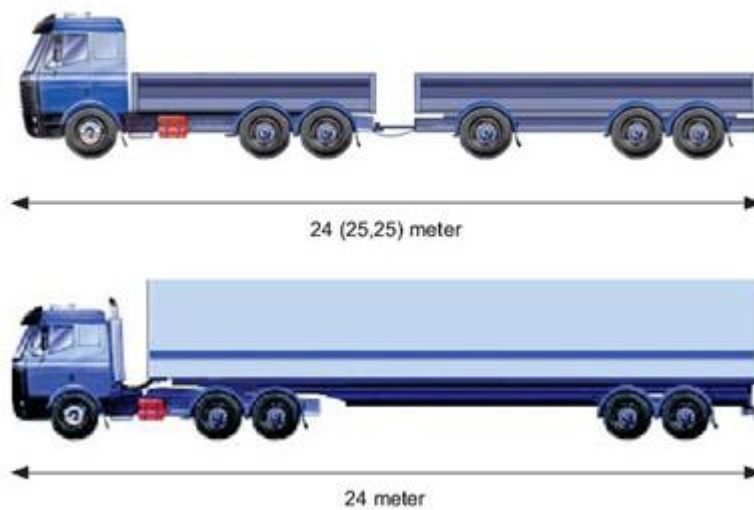
Lastbilar är enligt Transportstyrelsen (2013) indelade i lätta och tunga lastbilar. Lastbilar som väger mindre än 3,5 ton klassificeras som lätta lastbilar, och lastbilar som väger mer klassificeras som tunga lastbilar. Lastbilens vikt, och således klassifikation, bestämmer den högst tillåtna hastigheten lastbilen får färdas i. Enligt Transportstyrelsen (2013) får lätta lastbilar färdas i vägnätets angivna hastighetsbegränsning, tunga lastbilar begränsas till 90 km/h som högsta färdhastighet på motorväg och motortrafikled samt 80 km/h på annan väg eller om den tunga lastbilen har ett släp. I Figur 3.2 illustreras maxbruttovikten för olika lastbilstyper.

	Typ	Bruttovikt, max
	Two axles	18 ton
	Three axles	25 (28*) ton
	Four or more axles	31 (32*) ton
	Släpvagn	38 ton

Figur 3.2: Tunga lastbilar i Sverige och maxtonnage, modifierad från Transportstyrelsen (2020a).

Bärighetsklass är den klassificering som bestämmer hur tunga fordon som det allmänna vägnätet får belastas med (Trafikverket, 2020a). Den tillåtna bruttovikten beror även på fordonets axelavstånd och axeltryck. Sveriges vägnät är uppbyggt av fyra bärighetsklasser och 2020 bestod det svenska vägnätet till 94 procent av bärighetsklasserna BK1 och BK4. Bärighetsklasserna BK1 och BK4 tillåter en belastning på 64 respektive 74 ton, vilket är tyngre än övriga klasser. Enligt en rapport av Trafikverket (2020b) är cirka 20 procent av det svenska vägnätet öppet för BK4.

Svensk lagstiftning för tung lastbilstrafik skiljer sig från större delar av Europa. Enligt International Transport Forum (2019) är maxlängden för ett fordonsekipage i Sverige 25,25 m. Detta står i kontrast med resterande delar Europa, där maxlängden för ett ekipage generellt är 18,75 m. I Figur 3.3 illustreras den ledade (övre ekipaget) och oledade (nedre ekipaget) maxlängden för tunga lastbilar i Sverige.



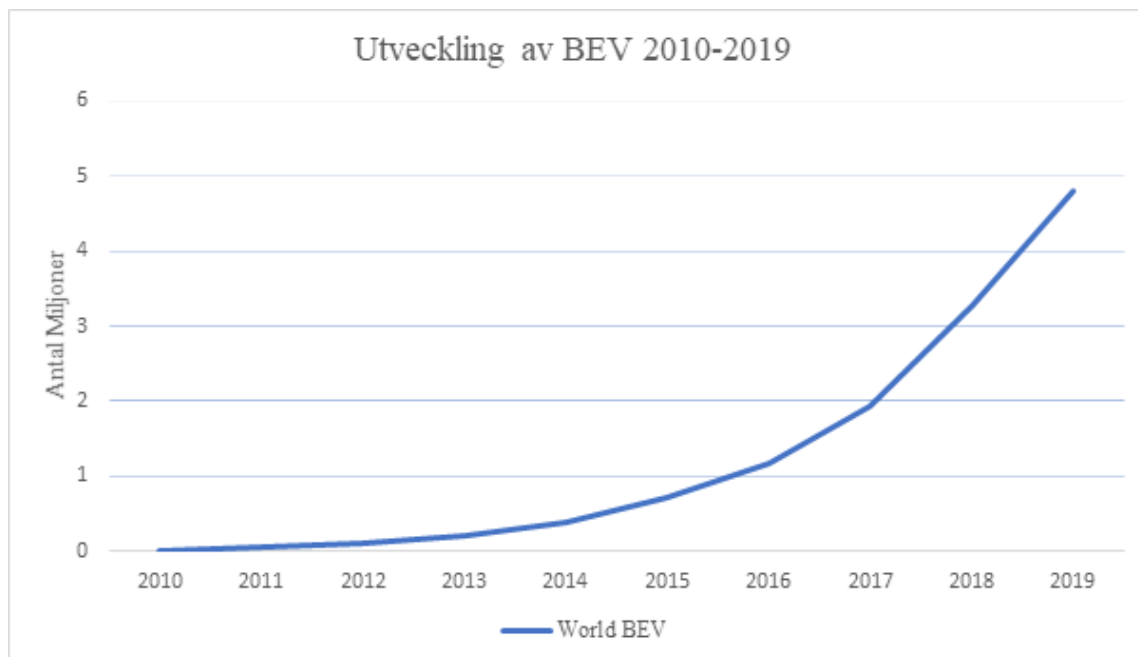
Figur 3.3: Godkända längder för lastbilar i Sverige. Ledad och oledad maxlängd, modifierad från Transportstyrelsen (2020b).

Lastbilstrafiken som överstiger 3,5 ton i Sverige omfattas av ett antal regler vad gäller kör- och vilotider. Dessa regler är enligt Transportstyrelsen (2020c) gemensamma för Europeiska unionen (EU). Reglerna innebär, enligt Transportstyrelsen (2020c), att när en chaufför har en sammanlagd körtid på 4,5 timmar så måste chauffören ta en rast på 45 minuter. Under en kalendervecka får en chaufför under två dagar köra tio timmar, de andra dagarna begränsas chauffören till nio timmar. Kör- och vilotider för tunga transporter omfattas av fler regleringar men dessa anses inte relevanta för rapporten.

Transportarbete är ett begrepp som omfattar all form av person- och godstransport. Enligt Trafikverket (2021) har åtta vägsträckor i Sverige identifierats, där 57 procent av trafikarbetet med tunga fordon utförs. Trafikverket (2021) menar att trafikarbete, som är ett mått på mängden trafik på vägnätet, kan användas som en indikation av transportarbete och utsläpp av klimatgaser. Trafiken på de vägnät som står för 57 procent av trafikarbetet är sannolikt varierande men Trafikverket (2021) menar att ett rimligt antagande är att hälften av trafiken genomförs med lastbil och med släp.

3.2.2 Batterielektriska personbilar

Das et al. (2020) beskriver hur elbilsmarknaden utvecklats under perioden 2010 till 2019. För ett decennium sedan var elbilsmarknaden begränsad, med ett hundratal registrerade fordon globalt. 2018 hade det totala antalet överstigit tre miljoner. Utvecklingen för batterielektriska fordon (BEV) illustreras i Figur 3.4.



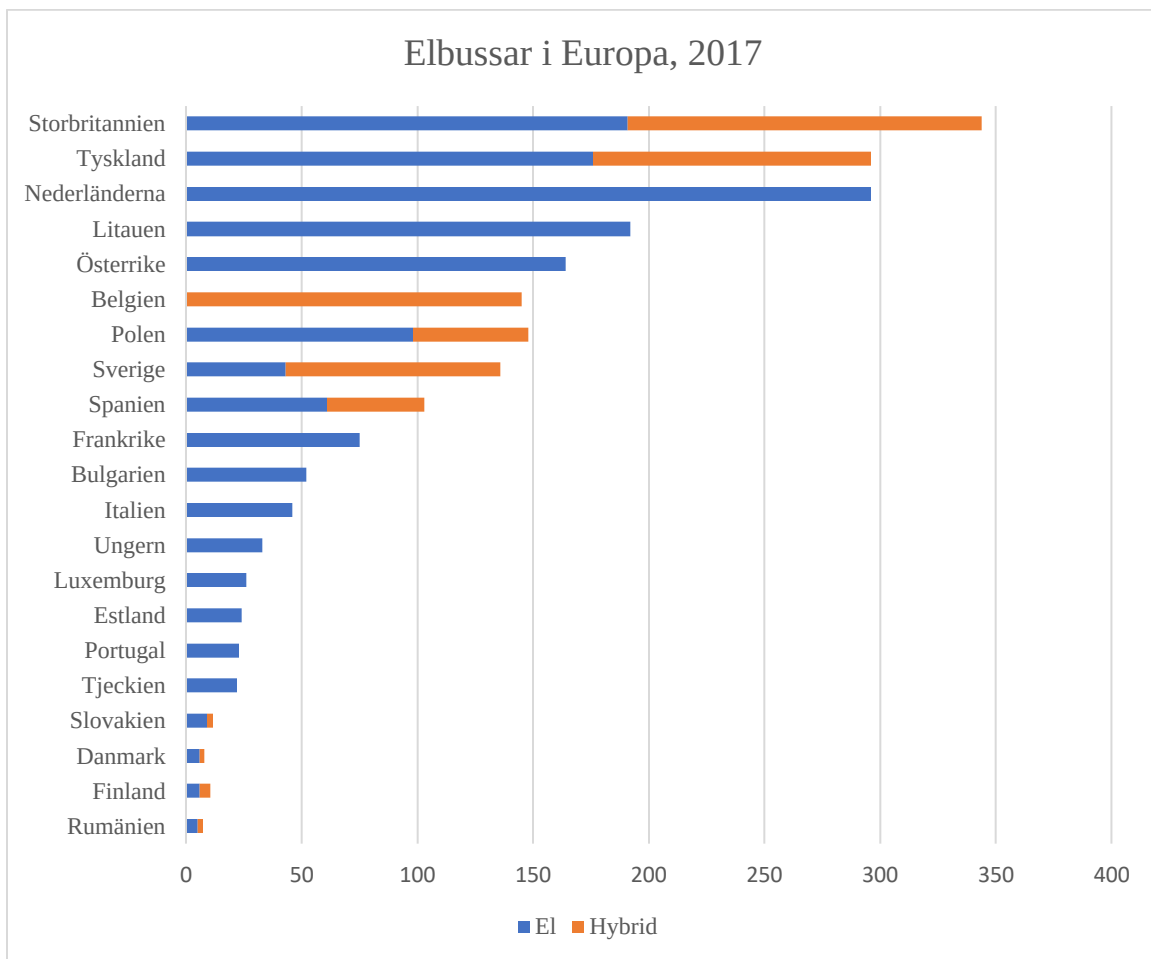
Figur 3.4: Utveckling av den globala marknaden för batterielektriska bilar. Modifierad illustration av statistik från International Energy Agency (2020).

Das et al. (2020) konstaterar vidare att prognoser indikerar att 100 miljoner elektriska fordon kommer vara i drift år 2035. International Energy Agency (IEA) (2020) pekar ut flera faktorer som har påverkat försäljningen av elektriska fordon under det senaste decenniet. Omfattande subsidier från politiken anses ha bidragit till dess initiala uppgång i kombination med prisutvecklingen för batterier. Subsidierna har på senare år ersatts av regulativa och strukturella åtgärder rörande klimatmål och reduktionsplikt, vilket anses ha skickat en tydlig signal till fordonstillverkare om vägen framåt.

Infrastrukturen för laddning ökar även stadigt. IEA (2020) estimerar att det totala antalet laddare till elektriska fordon uppgår till 7,3 miljoner, varav 800 000 är publika. Av de publikt tillgängliga laddstationerna är 30 procent snabbladdare (IEA, 2020). Vidare konstaterar IEA (2020) att den drivande policyn som skapar störst incitament för att privata aktörer ska investera i laddare är förmånliga skatter, incitament för inköp av utrustning och rabatter.

3.2.3 Batterielektriska bussar

Även andra transportsätt har inlett sin elektrifieringsprocess, däribland busstrafiken, som är inne i en expansiv och utvecklande fas enligt rapporten *Elbussar i Sveriges kollektivtrafik* (Trafikverket, 2019). IEA (2020) estimerade att antalet elbussar år 2019 uppgick till en halv miljon, varav majoriteten finns i Kina. Du et al. (2019) anser att detta beror på omfattande subsidier som den kinesiska staten riktat mot teknologin. Detta har varit essentiellt för att uppnå ett pris som tillåter marknadspenetration. Europa ligger steget efter vad gäller användandet av elbussar (BloombergNEF, 2018). Utbredningen av elbussar i Europa år 2017 illustreras i Figur 3.5.



Figur 3.5: Fördelning av elbussar i Europa 2017. Modifierad illustration av statistik från Bloomberg New Energy Finance (2018).

BloombergNEF (2018) konstaterar att den största barriären för marknaden i dagsläget är den höga investeringskostnaden jämfört med dieselbussar. Det konstateras ytterligare att minskade batteripriser kommer leda till kostnadsneutralitet jämfört med dieselbussar 2030, vilket innebär att kostnaden för en dieselbuss och en elbuss kan likställas med varandra. Några av de främsta farhågorna, förutom kostnaden, är enligt BloombergNEF (2018) priset för elektricitet, bristande elnät, brist på existerande infrastruktur och standardisering, minskad operativ flexibilitet samt avsaknad av erfarenhet.

3.2.4 Batterielektriska lastbilar – utbudet i nuläget

I dagsläget erbjuder enbart ett fåtal fordonstillverkare batterielektriska lastbilar och ingen av dem har i dagsläget någon serietillverkning. Fordonstillverkaren Daimler AG har lanserat modellen eActros för city- och regional distribution med en räckvidd på 200 km som ska serietillverkas med start 2022 (Daimler, 2020). Pilottest har även påbörjats för modellen eCascadia med en estimerad räckvidd på 370 km (Daimler, 2020).

Volvo Groups BET-modeller Volvo FH, Volvo FM, och Volvo FMX har pilottestats. Bruttovikten för fordonen är 44 ton och de har en maximal räckvidd på 300 km, där serietillverkning för modellerna planeras inleda 2022 (Volvo Group, 2020). Det är också Volvo som är den första fordonstillverkaren

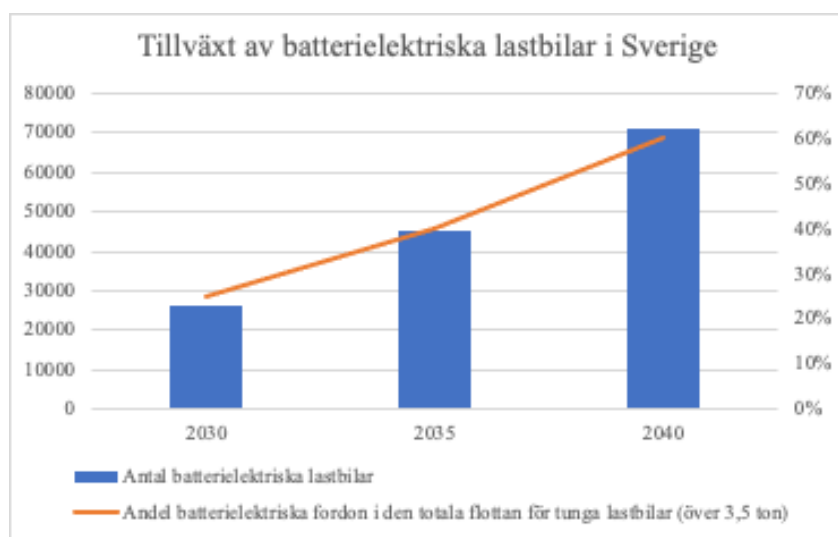
som genomför pilottest för tunga batterielektriska transporter i Europa (Frick, 2021). Testet utförs med en batterielektrisk lastbil med en totalvikt på 60 ton som kommer färdas mellan Jönköping och Göteborg, en sträcka på 150 km.

En tredje fordonstillverkare som har satsat på teknologin är Scania. De har lanserat en modell vars räckvidd uppgår till 250 km (Scania, 2020b). Scania avser att investera en miljard euro till 2025 i forskning och utveckling av batterielektriska lastbilar (Scania, 2020a).

Skiftet till batterielektriska lastbilar drivs också på av nya aktörer såsom elbilstillverkaren Tesla som år 2017 lanserade deras batterielektriska lastbil Tesla Semi (Tesla, u.å). Lastbilen kommer produceras i två modeller med räckvidder på 300 km respektive 500 km. Produktionsstart för modellen med räckvidd på 300 km skulle inletts år 2019 men har försenats till slutet av år 2021 (InsideEV, 2021).

3.2.5 Batterielektriska lastbilar – prognoser för framtiden

Trafikverket (2021) prognosticerar att antalet batterielektriska lastbilar kommer öka och uppta allt större andelar av Sveriges totala flotta för tunga lastbilar. I Figur 3.6 illustreras Trafikverkets (2021) prognos för tillväxten av batterielektriska lastbilar i termer av antal samt andel av den totala flottan för tunga lastbilar.



Figur 3.6: Kombinationsdiagram för tillväxten av batterielektriska lastbilar (Trafikverket, 2021).

Siffrorna till Figur 3.6 har tagits fram under förutsättningen att laddinfrastrukturen inte är en begränsande faktor. Det går således argumentera för att om Sveriges utbyggnad av elnät och laddinfrastruktur sker i samma takt som marknadens behov så kommer 60 procent av Sveriges totala flotta av tunga lastbilar elektrifieras till 2040.

Det finns flera olika teknologiska möjligheter för att elektrifiera tunga transporter. Trafikverket (2021) menar att utvecklingen av vald teknologi för elektrifiering behöver ske harmoniserat och i samverkan med EU och den globala marknaden. Trafikverket (2021) skriver att EU har en tydlig teknologisk inriktning mot utvecklingen av batterielektriska lastbilar och att Sverige bör prioritera utvecklingen för batterielektriska lastbilar för att underlätta elektrifieringen av tunga transporter.

3.3 Förutsättningar för batterielektriska transporter

Avsnittet avser skapa en tydligare bild av batterielektriska transporter genom att beskriva teknisk prestanda för batterier i elfordon, elförbrukningen för batterielektriska lastbilar samt presentera prognoser för när större batterikapaciteter blir tekniskt möjliga. Därefter presenteras även en genomgång av kostnadsberäkningar för batterifordon, efterfrågan av hållbara transporter, en beskrivning av laddinfrastruktur, inflytandet av politiska styrmedel samt konceptet batteribärande släp som range extender.

3.3.1 Teknisk prestanda för batterier i elfordon

Definitionen av batterielektriska lastbilar som används i denna rapport bygger på principen att energin lagras i batteripack ombord lastbilen. Ett batteripack består av flera individuella battericeller som sammankopplas (Nationalencyklopedin, u.å.). Eftersom utvecklingen av batterier till tunga fordon är i ett tidigt stadie omgärdas dagens batterier av många osäkerheter. Teknisk prestanda behöver förbättras innan ett omfattande skifte till elektrisk drivlina blir aktuellt för åkerier. De prestandamått som är mest relevanta är energidensitet, livslängd och batterikostnad (Battery 2030+, 2021).

Energidensiteten i batterier är i dagsläget inte adekvat för att elektrifiera långväga transporter i större utsträckning. År 2020 finns det batterier anpassade för tunga fordon som på cellnivå har en energitäthet på 0,25 kWh/kg respektive 0,50 kWh/L. Framsteg inom detta område uppskattas innebära att energitätheten kommer öka till 0,45 kWh/kg respektive 1,00 kWh/L år 2030. Energidensiteten för batteripack är något lägre, eftersom kringutrustning behövs för att exempelvis sammankoppla och kyla cellerna. År 2020 utgörs batteripacks totala vikt till 70 procent av battericeller men antas öka till 80 procent år 2030 (Europakommissionen, 2020).

Livslängden för batterier mäts i antalet laddningscykler som i nuläget ligger runt 3 000 cykler för celler och förväntas öka till 6 000 år 2030 (Europakommissionen, 2020). Detta antal påverkas av batterikonstruktionen samt hur användningen sker. Ett batteri presterar optimalt och får en längre livslängd om det enbart laddas ur till ungefär 20 procent (Berggren, 2020). Andra parametrar som påverkar prestationen och livslängden är laddeffekt, uttömningshastighet samt omgivningstemperatur. Det sistnämnda innebär att kyl- och värmesystem krävs runt battericellerna.

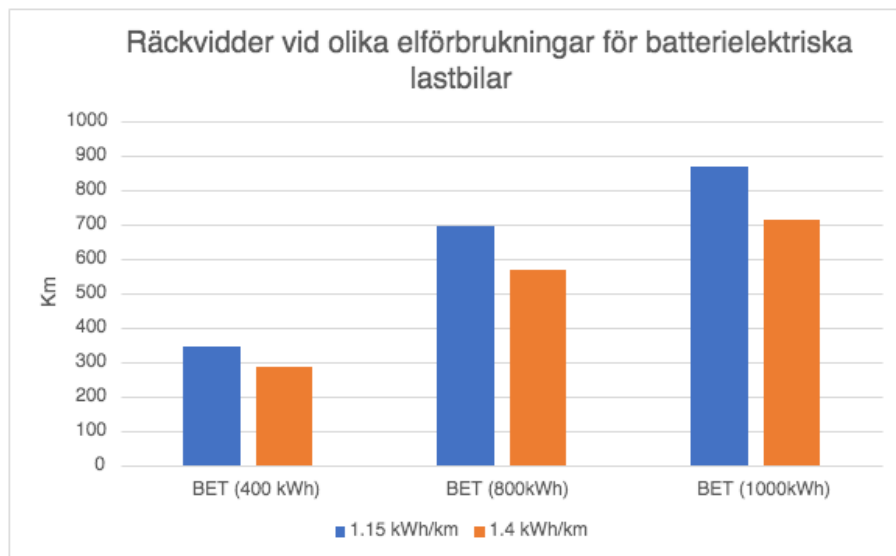
Utveckling sker även kostnadsmässigt och batterier blir mindre investeringskrävande för användare. Batteripriset har sjunkit med 87 procent över nio år, från 1 100 USD/kWh 2010 till 156 USD/kWh 2019 (BloombergNEF, 2020). Enligt samma rapport estimeras priset år 2023 vara runt 100 USD/kWh och nå 58 USD/kWh år 2030. Detta beror på flera faktorer såsom ökade volymer i produktion, förbättrad batteriteknologi samt ökad återvinning av metaller.

I dagsläget är litiumjon den dominerande batteriteknologin. Därav baseras prestandamått ovan på denna teknik. Detta är något som kan förändras i framtiden då utvecklingen av andra batteritekniker fortgår (Warp Institute, 2020). Den främsta anledningen till detta eventuella framtida skifte är att litiumjonbatterier har en teoretisk maxgräns för energidensitet på 0,40 kWh/kg för celler. Potentiella ersättare är bland annat litiumsvavelbatterier och litiumluftbatterier med möjliga energidensiteter på 1,00 kWh/kg respektive 1,75 kWh/kg (Warp Institute, 2020).

3.3.2 Batterielektriska lastbilar - energiförbrukning

Möjliga räckvidder för elfordon avgörs inte enbart av batterikapacitet utan beror även på elförbrukningen (Earl et al., 2018). Elförbrukningen mäts i kWh/km och beror på flertalet faktorer såsom aerodynamiken, däckens friktion mot vägbanan, lastvikt, motorns verkningsgrad,

energieffektiviteten vid laddning, topografin samt körmönster. För batterielektriska lastbilar med totalvikt på 40 ton uppskattas elförbrukningen i nuläget variera mellan 1,15 kWh/km till 1,40 kWh/km (Earl et al., 2018). Skillnaden i elförbrukningen innebär en skillnad i räckvidd vilket framgår av Figur 3.7. Scantias nyligen lanserade BET har en elförbrukning på 1,20 kWh/km (Scania, 2020b).

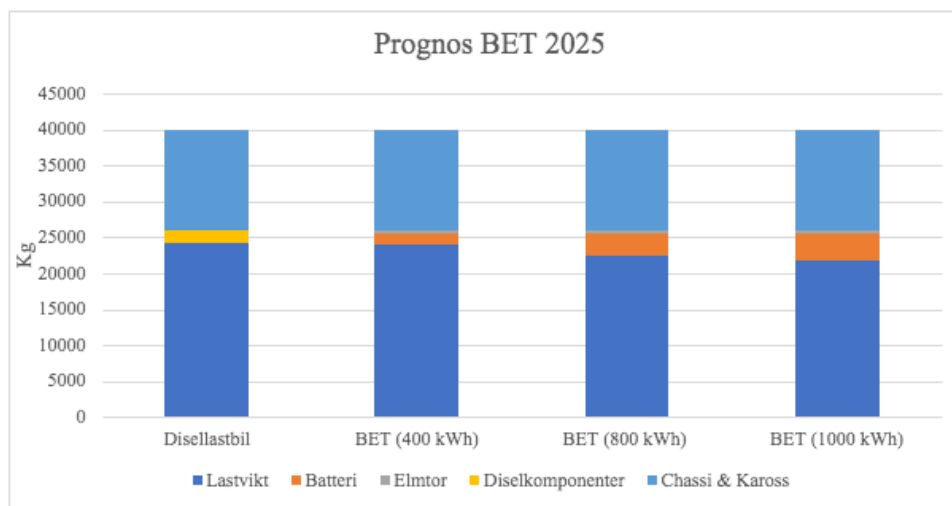


Figur 3.7: Jämförelse av räckvidder vid olika elförbrukningar för BET med olika batterikapacitet (Earl et al., 2018).

3.3.3 Prognos av utvecklingen för BET under perioden 2025 till 2035

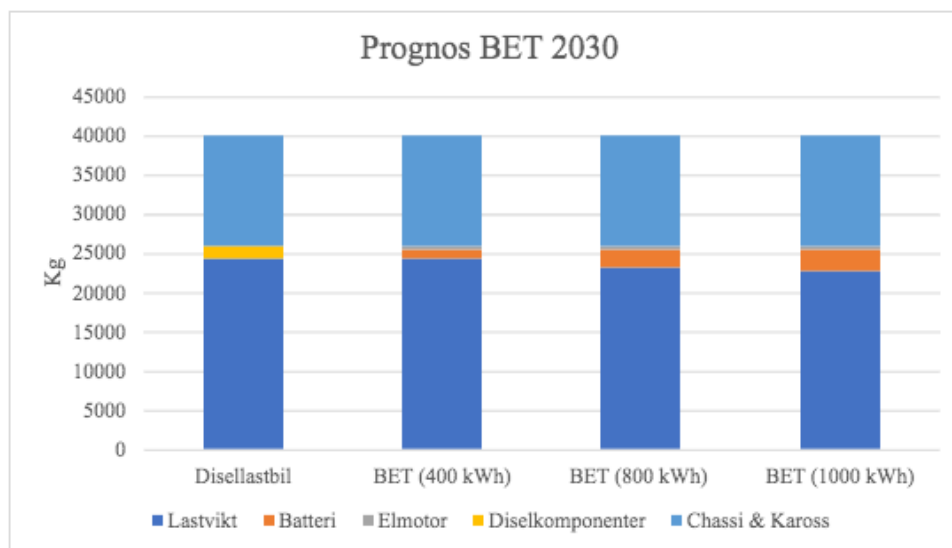
Vid byte av drivlina från förbrännings- till elmotor kommer både vikt och volym frigöras, vilket potentiellt kan fyllas av batterier. Obsoleta delar i en BET är främst motor, avgassystem och bränsletank som har en ungefärlig volym och vikt på totalt 1 900 L respektive 1700 kg. Det som tillkommer är elmotorer som uppskattningsvis upptar 50 L och väger 450 kg. Lastbilens chassi och kaross antas väga 14 000 kg. Sammanfattningsvis finns det utifrån dessa uppskattningar en ledig vikt och volym på 1 250 kg respektive 1850 L i lastbilskroppen som är möjlig att fylla med batterier Mareev et al (2017).

Europakommissionen (2020) prognosticerar att andelen av batteriers totala vikt som består av celler kommer öka från 70 procent till 80 procent mellan åren 2020 och 2030 vilket utifrån det kan interpoleras till att år 2025 vara 75 procent. Med liknande tillvägagångssätt kan Europakommissionen (2020) prognoser för utvecklingen av battericellers energidensitet interpoleras till 0,35 kWh/kg för år 2025. Det ger att batteripack för tunga fordon år 2025 uppskattas att ha en energidensitet på 0,26 kWh/kg. Det innebär att ett 40 tons ekipage med batterikapacitet på 400 kWh kommer ha en marginellt lägre lastförmåga på cirka 300 kg jämfört med motsvarande diesellastbil (se Figur 3.8). För BET med batterikapacitet på 800 kWh och 1000 kWh innebär det att lastvikten reduceras med cirka 1800 kg respektive 2600 kg. Energidensiteten volymmässigt kommer år 2025 enligt prognosen vara 0,50 kWh/L. Detta innebär att batterikapaciteter på 1000 kWh omgärdas av svårigheter då batterivolym beräknas till 1 975 L och ledig volym uppskattades till 1 850 L.



Figur 3.8: Prognos på andel lastvikt för BET år 2025.

År 2030 prognosticeras att batteripack med energidensitet på 0,36 kWh/kg kommer finnas tillgängligt, där celler prognosticeras till 0,45 kWh/kg. Det innebär att lastbilar med batterikapaciteter på 800 kWh och 1000 kWh har en reducerad lastvikt på ungefär 1 000 kg respektive 1 500 kg (se Figur 3.9). BET med batterikapacitet på 400 kWh har lika stor lastförmåga som en diesellastbil, cirka 24 000 kg. Eftersom teoretiska maximala energidensiteten för battericeller av typen litiumjon är 0,40 kWh/kg implicerar denna prognos för år 2030 ett skifte till annan batteriteknik, vilket ökar osäkerheten i estimatet. Prognosen för volymmässig energidensitet på 0,75 Wh/L innebär att samtliga batterikapaciteter ryms i den uppskattade lediga volymen på 1 850 L.

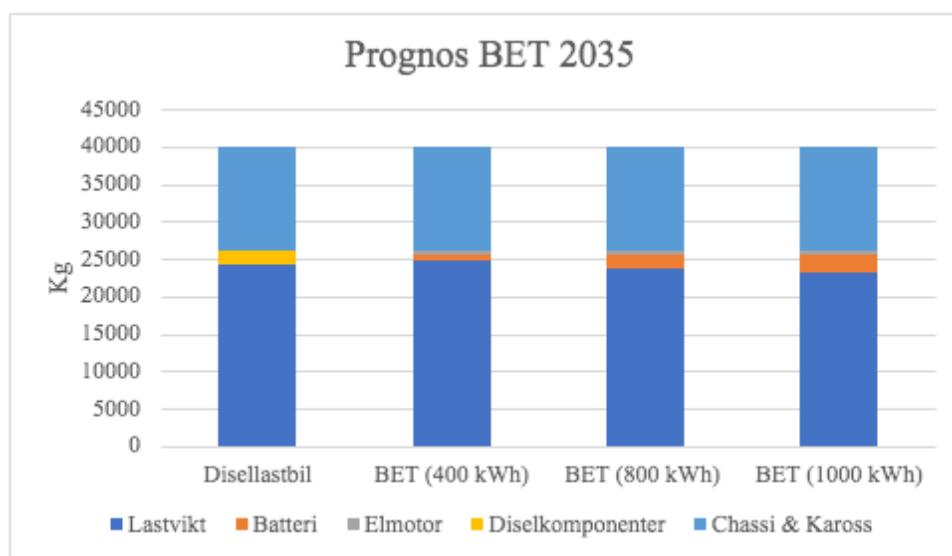


Figur 3.9: Prognos på andel lastvikt för BET år 2030.

Som ovan nämnt har troligen ett tekniskifte från litiumjonbatterier inträffat år 2035. Energidensiteterna för dessa nya tekniker uppskattas på sikt uppgå till mellan 1,00 och 1,75 kWh/kg

(Warp Institute, 2020). Utifrån dessa uppskattningar prognosticeras battericeller med energidensitet på 0,55 kWh/kg finnas tillgänglig på marknaden år 2035. Om därefter batteripacks totala vikt antas till 80 procent utgöras av battericeller så följer det att år 2035 kommer finnas batteripack med energidensitet på 0,44 kWh/kg (Europakommissionen, 2020).

Prognoser för energidensitet av batteripack år 2035 implicerar att batterikapaciteter på 800 kWh och 1 000 kWh innebär en reducerad lastvikt för en BET på ungefär 600 kg respektive 1 000 kg jämfört med en diesellastbil (se Figur 3.10). Prognoserna för år 2035 omgärdas av osäkerhet då, som nämnt ovan, ett skifte av batteriteknik antas ha skett vilket kräver att batterierna uppnått tillräckliga nivåer även de andra tekniska prestandamåten utöver energidensitet.



Figur 3.10: Prognos på andel lastvikt för BET år 2035.

Vidare bygger dessa prognoser dels på energidensiteter, dels på uppbyggnad av lastbils kroppen. Vilka batterikapaciteter som är möjliga är därav en ingenjörsmässig utmaning med många faktorer som kan påverka. Enligt uppgifter kring Tesla Semi kommer modellen med kortare räckvidd (300 km) ha ett batteripack på 500 kWh och produktion planeras i slutet av 2021 (InsideEV, 2021). Modellen av Tesla Semi med räckvidd på 500 km kommer medföra ett batteripack på 800 till 900 kWh. Den möjliga lastvikten som Tesla Semi kommer klara har inte företaget avslöjat men externa analyser uppskattar lastvikten mellan 20 000 kg och 22 000 kg (InsideEV, 2019). I avsnittets prognoser varierade lastförmågan för BET med batterikapacitet 800 kWh från 22 500 kg år 2025 till 23 900 kg år 2035.

3.3.4 Kostnadsberäkningar för batterifordon

De formler och beräkningar som presenteras i detta avsnitt utgår från Anders Grauers föreläsning på Lindholmen Science Park från år 2020 (Lindholmen Science Park, 2020). För en batterielektrisk lastbil består kostnaden för varje använd energienhet av tre komponenter, kostnaden för att köpa en energienhet (elpriset), kostnaden att ladda en energienhet (laddningsavgiften) och kostnaden att lagra en energienhet. Den sistnämnda komponenten beror av batteripriset och hur batteriet används, se Formel 1.

$$\text{Kostnad per kWh [SEK/kWh]} = \frac{\text{Batteripris [SEK/kWh]}}{\text{Batteriutnyttjandegrad [EFC]}} \quad (1)$$

Batteriutnyttjandegraden uttrycks i enheten ekvivalenta fulla cykler (EFC) som visar antalet gånger ett batteri laddas fullt. Notera att det verkliga antalet gånger ett batteri laddas fullt under ett batteris livstid generellt är fler. Detta beror på att batterier fungerar optimalt om de inte laddas ur helt vid användning. Batterier fungerar optimalt vid ett urladdningsdjup på ungefär 80 procent. Batteriutnyttjandegraden beräknas genom att dividera total levererad energi under ett batteris livstid med batterikapaciteten, se Formel 2.

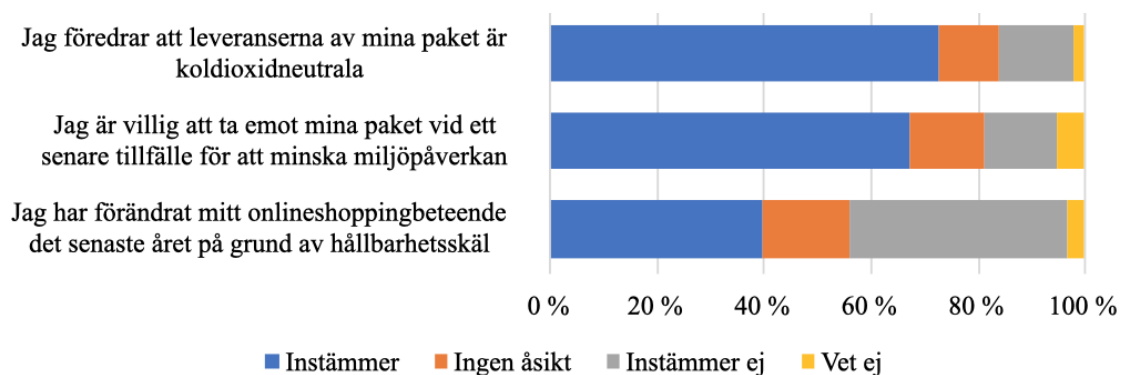
$$\text{Batteriutnyttjande [EFC]} = \frac{\text{Total levererad energi [kWh]}}{\text{Batterikapacitet [kWh]}} \quad (2)$$

Total levererad energi beräknas genom att multiplicera daglig levererad energi med antalet dagar i bruk. Daglig batteriutnyttjandegrad erhålls då via Formel 3 och visar hur mycket av batterikapaciteten som används dagligen. För personbilar ligger detta värde generellt runt 25 procent medan distributionslastbilar med hög utnyttjandegrad ligger på 50 procent. Om batteriet har ett urladdningsdjup på 80 procent utgör det den teoretiska maximala gränsen för daglig batteriutnyttjandegrad, givet att laddning sker en gång per dag.

$$\text{Daglig batteriutnyttjandegrad [\%]} = \frac{\text{Daglig levererad energi [kWh]}}{\text{Batterikapacitet [kWh]}} \quad (3)$$

3.3.5 Efterfrågan på hållbara transporter

Undersökningen *Cross-border e-Commerce Shopper Survey* av IPC (2020) har studerat 40 olika länder och behandlar bland annat konsumenters efterfrågan av hållbara transporter i samband med näthandel. Tre av frågorna presenteras i Figur 3.11. Av de 33 594 respondenterna skulle 73 procent till viss del föredra koldioxidneutrala transporter, 68 procent är till viss del villiga att förlänga leveranstiden för att minska klimatpåverkan och 40 procent har till viss del förändrat sitt beteende i samband med onlineshopping av miljö och hållbarhetsskäl.



Figur 3.11: Modifierad illustration av transportköparens efterfrågan och beteendemönster kring hållbara transporter (IPC, 2020).

En drivande kraft för att elektrifiera transporter som kommer påverka marknaden är efterfrågan på elektrifierade transporter från transportköparna. Endast fyra BETs såldes under 2018 enligt statistik

från TripleF (2021). Trafikverket (2021) menar att åkerierna kan etablera hållbara affärsmodeller först när efterfrågan från transportköpare på elektrifierade transporter är tillräckligt stor.

3.3.6 Laddinfrastruktur

En kombination av stationär laddning och successiv inblandning av förnybara drivmedel anses enligt Trafikverket (2021) kunna minska utsläppen från tunga fordon med 85 procent till 2040 jämfört med 2018. Trafikverket (2021) konstaterar även att bristen på infrastruktur för stationär laddning utgör ett hinder för elektrifieringsprocessen. Fernanda Marzano från Scania Group säger i en rapport från Teknikföretagen (2020) att utbyggnaden av laddinfrastruktur är kostsam och att det är oklart vem eller vilka som ska stå för dessa kostnader. Marzano fortsätter med att det troligtvis kommer krävas stöd från politiken för att täcka kostnaderna som utbyggnaden av laddinfrastruktur medför.

Det framtida behovet av infrastruktur avser 70 000 depåladdare, 5 000 till 14 000 semi-publika laddare och 3 000 till 6 000 publika laddstationer (Trafikverket, 2021). Regeringen (2020a) föreslår ett stöd på 500 miljoner kronor för år 2021. För år 2022 planeras 550 miljoner kronor tillföras ändamålet. Det finns i dagsläget inga rättsliga eller tekniska hinder för att bygga ut infrastrukturen (Trafikverket, 2021). Svårigheten är enligt Trafikverket (2021) att nå lönsamhet då utbyggnad av laddinfrastruktur innebär stora investeringar. Det konstateras ytterligare att stationär laddning kan vara företagsekonomiskt lönsamt först 2035, givet att den ökade reduktionsplikten leder till ett högre pris på diesel.

Utformningen av Sveriges elnät framstår som en av utmaningarna för utbyggnaden av laddinfrastruktur. Enligt Ellagen (SFS 1997:857) får inte elnätet byggas ut på spekulation, utan kräver en konstaterad efterfrågan. Vid utbyggnad av elnätet konstaterar Trafikverket (2021) att tillståndsprocessen är långsam och därav agerar flaskhals i processen. Teknikföretagen (2020) anser att ett elnät med tillräcklig kapacitet för att tillgodose en elektrifierad transportsektor i Sverige kan vara färdigställt tidigast 2030.

3.3.7 Politiska styrmedel

För att minska användningen av fossila bränslen har Sveriges regering satt upp mål som ämnar minska utsläppen från transporter med 70 procent senast 2030 jämfört med 2010 års nivåer och avser vara helt fossilfria 2045 (Regeringskansliet, 2021). Teknikföretagen (2020) och Trafikverket (2021) menar på att det bör ges politiska stöd för att öka elektrifieringsgraden i Sverige. Dessa stöd bör bland annat främja storskaliga testbäddar och systemdemonstrationer.

Ett politiskt verktyg för att främja användningen av förnybara drivmedel är reduktionsplikt. Enligt Trafikverket (2021) antas reduktionsplikten bidra till ett högre drivmedelspris och därigenom öka den relativa lönsamheten för stationär laddning. Ett förslag från Regeringen (2020d) ämnar öka reduktionsplikten till 66 procent 2030. En kombination av reduktionsplikt och utbyggnad av stationär laddning har enligt Trafikverket (2021) fördelen att biodrivmedel frigörs för sektorer som är mer utmanande att elektrifiera.

Trafikverket (2021) belyser att klimatpremier är ytterligare ett politiskt verktyg för att driva elektrifieringen av tunga transporter. Trafikverket menar att det krävs en klimatpremie för att batterielektriska lastbilar ska nå kostnadsneutralitet jämfört med diesellastbilar. Trafikverket (2021) prognosticerar att merkostnaden för en BET ligger mellan 206 000 kronor och 765 000 kronor, beroende på användningsområde år 2030. Enligt en ekonomisk sammanställning gjord av Sveriges Åkeriföretag (2018) visar att under perioden 2008 till 2017 har det genomsnittliga rörelseresultatet för Sveriges åkerier legat mellan 2,2 och 3,6 procent. Det gör eventuella merkostnader för

batterielektriska lastbilar svåra för åkerier att klara av. En eventuell framtida klimatpremie för batterielektriska lastbilar bör inledningsvis vara hög och successivt minskas parallellt med den teknologiska utvecklingen för att slutligen fasas ut år 2035 (Trafikverket, 2021).

Ett annat politiskt verktyg som kan främja elektrifieringen av Sverige är att artikulera efterfrågan via offentliga upphandlingar av hållbara godstransporter (Teknikföretagen, 2020). Upphandlingsmyndigheten (2021) skriver att offentliga upphandlingar är ett viktigt styrmedel för att nå samhällspolitiska mål.

3.3.8 Batteribärande släp som range extender

Batteribärande släp är en teknologisk lösning som möjliggör längre batterielektriska transporter. Ahuja (2020) skriver att ett företag i Frankrike utvecklar denna lösning för personbilar och företaget planerar att kommersialisera lösningen 2022. Företaget som utvecklar lösningen estimerar att det batteribärande släpet skall kunna öka räckvidden för ekipaget med 154 km och menar att de önskar dubblera denna räckviddsökning inom fem år (Ahuja, 2020).

Det batteribärande släpet som range extender är en lösning som öppnar upp för alternativa affärsmodeller. Ahuja (2020) skriver att det franskgda företaget som utvecklar lösningen för personbilar planerar att erbjuda en uthyrningstjänst för släpet. Uthyrningssystemet medför att ägare till batterielektriska personbilar som sällan kör långväga transporter kan köpa elbilar med mindre räckviddskapacitet och hyra släpet vid behov. Detta är enligt Ahuja (2020) förnuftigt ur ett miljöperspektiv eftersom det minskar behovet av att massproducera stora batterier.

I rapporten utvärderas det batteribärande släpet som en möjlig lösning för att bemöta de teknologiska begränsningar som drabbar tunga batterielektriska lastbilstransporter. Det batteribärande släpet kan ha flertalet potentiella implikationer för åkerier.

Ett batteribärande släp består av flera batteripack som fördelas under släpets lastutrymme. Uppskattningsvis finns det utrymme för 4 000 L (Mareev et al., 2017). Ett släp med kapacitet på 475 kWh innebär att 1000 L upptas med batterier utifrån prognoser på energidensiteter för år 2025 (Europakommissionen, 2020). Viktbegränsningar i Sverige gör att ett släp maximala totalvikt inte får överstiga 38 ton (Transportstyrelsen, 2020a). Ett släp väger ungefär 10 ton vilket innebär en maximal lastvikt på 28 ton i Sverige (Tarradell, 2020). Hur mycket som ett batteribärande släp kommer reducera möjlig lastvikt avgörs av mängden batterier som monteras. Utöver batterier krävs kontaktdon och kablage för att koppla ihop batteripacken med lastbilen vilket uppskattningsvis väger runt 50 kg. För ett släp med kapacitet på 475 kWh reduceras lastvikten med ungefär 1800 kg utifrån prognoser på energidensiteter för år 2025 (Europakommissionen, 2020).

4 Åkerinäringens ställning till långväga batterielektriska transporter

I detta kapitel presenteras de svar som erhöles i intervjustudien. Intervjustudien utfördes med sex respondenter som samtliga anonymiseras. För att anonymisera respondenterna har vardera respondent delgivits en bokstav från A till F, med anledning att särskilja respondenterna i resultatet. Det gemensamma för samtliga respondenter var att de hade en grön profil. Med en grön profil menas att respondenten aktivt arbetar med omställning till mer hållbara transporter. För att ge bakgrundsinformation om de olika respondenterna har överskådlig information som antal anställda och omsättning i Mkr angivits. Respondenterna med bakgrundsinformation visas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Anonymisering av respondenter med tillhörande översiktlig information.

Respondent	Anställda (St.)	Omsättning (Mkr)	Huvudsaklig transporttyp
A	100–200	200–300	Livsmedel
B	50–100	50–100	Gods
C	4 000–5 000	4 000–5 000	Dagligvarusortiment
D	40–50	40–50	Gods
E	300–400	300–400	Industriprodukter
F	900–1 000	900–1000	Gods

4.1 Åkeriernas operativa verksamhet

I intervjuerna ställdes inledningsvis frågor om respondentens operativa verksamhet. Dessa frågor ställdes i syfte att kunna analysera åkeriernas förutsättningar och möjligheter för att elektrifiera sina transporter. De frågor som anses relevanta för rapportens analys visas i Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Relevanta frågor till rapportens analys med respondenternas svar.

Fråga	A	B	C	D	E	F
Hur länge står släpen vid lastning/lossning?	0,5–2 h	2–4 h	1,5 h	1 h	0,5–1 h	2 h
Byter förare släp eller använder föraren samma släp?	Båda alternativen	Båda alternativen	Samma	Båda alternativen	Samma	Båda alternativen
Planerar ni att bygga laddinfrastruktur på era terminaler/depåer?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Går det göra en uppskattning på hur långt era lastbilar går i genomsnitt per dag?	45–90 mil	60 mil	30 mil	Nej	50 mil	25–80 mil

4.2 Efterfrågan på hållbara transporter från transportköpare

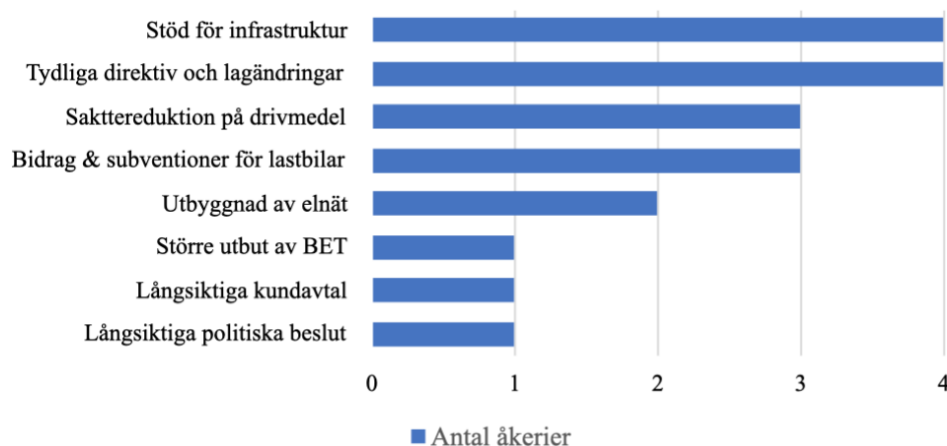
När åkerierna tillfrågades om efterfrågan på hållbara transporter från transportköpare har ökat svarade samtliga respondenter att de noterat en ökad efterfrågan på hållbara transporter. Samtliga respondenter förutsåg även att efterfrågan på hållbara transporter kommer fortsätta öka. Respondent A sade att efterfrågan fortsätter att öka och att det i många upphandlingar finns krav på hållbara transporter vilket ökar incitamenten för åkerier att erbjuda mer hållbara transporter. Respondent B svarade att det på senare tid blivit mycket större efterfrågan på hållbara transporter, och att det delvis beror på att större företag har krav på att vara hållbara. Respondent C har noterat en ökande efterfrågan på hållbara transporter från transportköpare och tillägger att efterfrågan på hållbara transporter är störst för transport av livsmedel. Respondent D menade att efterfrågan på hållbara transporter varierar mellan olika segment men tillade att de noterat en särskilt högre efterfrågan på hållbara transporter för transport av livsmedel, precis som respondent C. Även respondent E menade att efterfrågan på hållbara transporter ökar inom vissa segment. Respondent F upplevde att efterfrågan på hållbara transporter ökar och menade att den ökade efterfrågan ofta kommer från slutkund.

4.3 Transportköparnas benägenhet att betala för hållbara transporter

På frågan om transportköpare är villiga att betala mer för hållbara transporter svarade respondenterna relativt olikl varandra. Respondent A menade att transportköpare inte är villiga att betala mer för hållbara transporter. Respondenten menade att transportköparna inte är villiga att investera i den infrastruktur som krävs för mer hållbara transporter på sina terminaler. Respondent B menade att offentlig sektor och företag som har en miljöprofil är villiga att betala mer för hållbara transporter, men inte resterande transportköpare. Respondent C menade att de lyckats hålla priserna nere trots omställning till delvis hållbara transporter och att priset således inte varit något problem för transportköparna. Likt svaret från respondent A menade respondent D att transportköparna inte är villiga att göra de investeringar i infrastruktur som krävs för omställning till mer hållbara transporter. Enligt respondent E kräver transporter för industribranschen stora mängder energi och om deras verksamhet lyckas ställa om till mer hållbara transporter så är deras transportköpare villiga att betala för det.

4.4 Förutsättningar för att främja övergången till mer hållbara transporter

När tillfrågade angående vilka typer av stöd som skulle krävas för att respektive åkeri ska kunna ställa om sin verksamhet till att köra mer hållbara eller elektriska transporter gav respondenterna olika svar vilka illustreras i Figur 4.1. Däremot delade de flesta åsikten om att en sådan omställning kräver stöd i utbyggnad av infrastruktur som kan tillgodose lastbilarna med ström eller hållbara drivmedel. Detta är något många ansåg vara en omöjlighet att ansvara för. Även tydliga och långsiktiga direktiv och lagändringar ansågs nödvändiga av majoriteten för att kunna implementera elektriska, eller andra typer av hållbara transporter i större utsträckning. Några andra populära och nödvändiga förutsättningar handlar om skattereduktion på drivmedel, bidrag eller subventioner vid inköp av lastbilar. Två av åkerierna påpekade även att utbyggnad av det svenska elnätet kommer vara nödvändigt för framtida elektrifiering. Några avvikande åsikter är ett större utbud av BET, långsiktiga avtal mellan åkerier och transportköpare (kund) men även att mer långsiktiga politiska beslut är viktiga för en omställning. Respondent A sade att tillgängliga BET på dagens marknad är tre till fyra gånger så dyra som konventionella lastbilar på grund av merkostnader som potentiellt kan neutraliseras med olika sorters stöd.



Figur 4.1: Vilka typer av stöd behövs för att du/ni ska ställa om till mer hållbara/elektriska transporter?

4.5 Tekniska aspekter som begränsar åkeriernas transporter

När respondenterna blev tillfrågade hur ofta deras transporter begränsas av vikt eller volym var det enbart respondent A som inte upplevde dessa begränsningar som ett problem för verksamheten. De övriga respondenterna ansåg sig alla vara begränsade ur någon aspekt, men delade inte uppfattning angående vilken aspekt som var av störst betydelse. Respondent C svarade att vikten är mest begränsande för deras verksamhet. Respondenten ansåg även att detta kunde bli ett större problem i framtiden om batterielektriska fordon blir branschstandard, eftersom batterier begränsar vikten ytterligare. När Respondent F blev tillfrågad såg respondenten volymen som den mest begränsande faktorn. F delade dock uppfattning med C om att detta kan förändras vid en eventuell övergång till BET. Respondent E svarade att vikten var den största flaskhalsen för verksamheten i dagsläget. Respondent B svarade att det helt beror på vilken kund som avses, i vissa fall är volymen mer begränsande än vikten och vice versa. B konstaterade ytterligare att för branschen i stora drag så borde volymen vara den mest begränsande faktorn. Respondent D konstaterade att volymen för deras transporter alltid är maximerad, och bruttovikten för en transport ligger runt 85 till 90 procent av lagstadgad maximal vikt.

4.6 Osäkerheter rörande batterielektriska fordon för långväga transporter

Alla de tillfrågade åkerierna hade farhågor kring användning av BET för långväga transporter. Åsikterna kring vad som är centralt för att möjliggöra ett framtida teknikskifte var i till stor del konvergerande trots att de uppmärksammades från olika perspektiv. När Respondent A blev tillfrågad noterades att en grundförutsättning för att BET ska vara ett alternativ är att laddinfrastrukturen måste komma på plats. Denna åsikt delades av Respondent C i en senare intervju som såg bristen av laddinfrastruktur som ett problem. Respondent E konstaterade att en viktig aspekt är att fordonen måste ha tid att ladda utan att detta stör den operativa verksamheten. Denna åsikt framhölls även i intervjuer med B och C som såg tillgången till snabbladdning på under 45 minuter som kritisk för verksamheten. Även Respondent D påpekade att en stor nackdel är de operativa störningar uppkommer om fordonen behöver laddas under en transport. Respondent A såg batterikapaciteten och batteriets vikt som stora utmaningar. När Respondent F intervjuades delades denna åsikt. F påpekade ytterligare att batterierna måste dimensioneras efter rutter och vid långväga transporter väger batterierna för mycket och blir en flaskhals för verksamheten. Respondent E såg att batteriernas vikt och kapacitet som problem i dagsläget, men påpekade att utvecklingen av teknologin går i rätt

riktning. Respondent C såg både vikten och batterikapaciteten som ett problem vid en eventuell övergång.

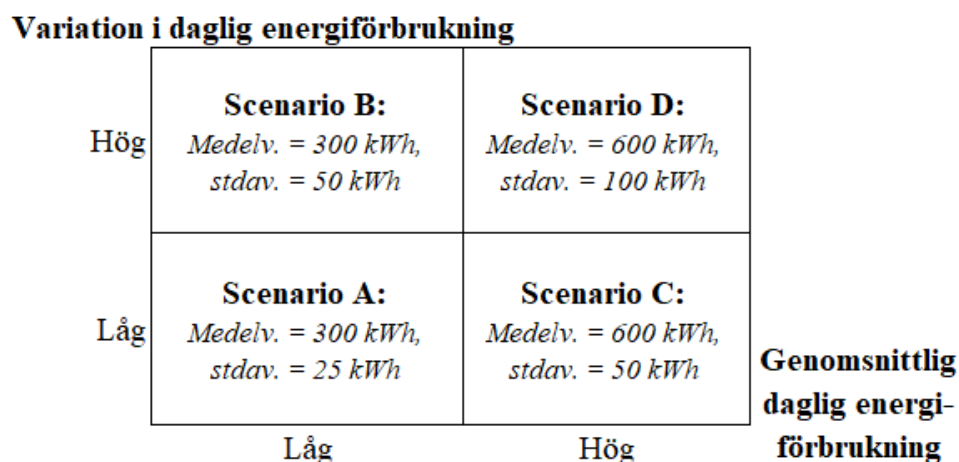
Det semi-strukturerade intervjutekniken renderade även i andra resultat kopplat till denna fråga. Två av intervjuobjekten, respondent A och D, har i dagsläget två elektriska lastbilar. Dessa respondenter gav en nyanserad bild kopplat till åkeriverksamhet och hur den påverkas av att nyttja batterielektriska lastbilar. De två respondenternas svar konvergerande i stort och behandlade hur ruttplanering, planering för laddning och planering av lastvikt blir en mer central del i åkeriverksamheten vid byte till batterielektriska lastbilar.

4.7 Åkeriernas tankar om konceptet batteribärande släp

De flesta åkerier ställde sig positiva till lösningen om batteribärande släp som range extender varav några bidrog med idéer för förbättring. Sammantaget exemplifierades både för- och nackdelar av respondenterna sett utifrån deras verksamhet. Lastförmågan av batteribärande släp lyftes fram som en potentiell nackdel av fyra respondenter, eftersom både lastvikt och lastvolym kan tänkas begränsas av släpets batterier. Respondent A tyckte att lösningen lät väldigt intressant och tillade att batterierna skulle kunna användas för att driva kylningen av gods. Respondent B menade att konceptet lät lovande men att vikt, volym och även kontakter kan bli problem i denna lösning. Hen förklarade att om lagar och regleringar ändras med avseende på antal axlar och längd samt om det finns möjlighet att byta släp kan lösningen fungera bra. Respondent C uttryckte att lösningen hade fungerat väl i deras verksamhet eftersom deras släp skulle ha möjlighet till flera timmars laddning mellan avhämtning och upphämtning. Det tillades även att batteribärande släp kan vara bra för viktfordelningen av en BET. Respondent D var positivt inställd och tyckte att det var en bra idé. Lastvikten samt kontakt mellan släp och lastbil ansågs kunna bli felande faktorer i en sådan lösning eftersom en dålig kontakt kan orsaka problem i lastbilssystemen samt att lastförmågan begränsas av batterierna. Respondent E var lite mer skeptisk och lyfte att det finns utmaningar sett utifrån laddningsmöjligheter samt den begränsade lastförmågan som uppstår, vilket är helt avgörande i deras verksamhet. Detta är en bra lösning med många möjligheter menade Respondent F och påpekade att det finns olika potentiella tillvägagångssätt för att implementera lösningen.

5 Simuleringsstudie

Avsnittet innehåller resultatet för respektive scenario och avslutas med en sammanfattande analys som innehåller det som framkommit av simuleringsstudien. Simuleringsstudien utgår från fyra scenarier där två faktorer varierar mellan låg och hög nivå. De två faktorerna är genomsnittlig daglig energiförbrukning samt variation i daglig energiförbrukning vilket presenteras i Figur 5.1. Omvandlingen mellan daglig körd sträcka och daglig energiförbrukning görs genom att en elförbrukning (kWh/km) antas för elfordonet, enligt Tabell 5.2.



Figur 5.1: Illustration av fyrfältaren som beskriver BET i fyra olika scenarier.

För varje scenario jämförs tre möjliga laddningsstrategier. Laddningsstrategierna presenteras i Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Laddningsstrategier för BET.

Laddningsstrategi	Beskrivning
Strategi med endast nattladdning.	Lastbilens batterikapacitet dimensioneras för att klara samtliga dagligt körda sträckor med enbart nattladdning.
Strategi med snabbladdning vid behov.	Snabbladdning används de dagarna nattladdningen av lastbilens batterikapacitet inte är tillräcklig.
Strategi med batteribärande släp vid behov.	Batteribärande släp används de dagarna nattladdningen av lastbilens batterikapacitet inte är tillräcklig.

Samtliga strategier förutsätter en batterielektrisk lastbil med släp och förare. Kostnaderna för detta kommer inte tas med i beräkningarna. Enbart de kostnader som skiljer scenarierna åt kommer tas hänsyn till såsom kostnader för att anpassa ett släp till att lagra och överföra energi till lastbilen eller större mängd bundet kapital för strategin med nattladdning. Ytterligare exempel på sådana kostnader är den indirekta kostnaden i form av löne- och fordonskostnad, som uppkommer vid snabbladdning om föraren inte laddar vid planerade stopp, exempelvis lastning eller lossning. Alla antaganden som görs visas i Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Antaganden för simuleringsstudien.

Antagande	Källa och kommentar
Batteripris: 2750 kr/kWh	(Europakommissionen, 2020)
Elförbrukning: 1,2 kWh/km	(Scania, 2020b)
Antal år i bruk: 10 år	Enligt respondent
Antal dagar i livstid: 2600 stycken	Antalet veckodagar (260)*antalet år
Utbyggnad av laddinfrastruktur på depåer	Antas vara utbyggd
Nattladdningstariff: 1 kr/kWh	(InCharge, 2020)
Laddinfrastruktur längs vägar	Antas vara utbyggd
Publik snabbbladdningstariff: 4 kr/kWh	(Eon, u.å)
Kostnad för batteribärande släp: 200 000 kr	Uppskattad kostnad för kablage, kontaktdon exklusive batterier.
Indirekta kostnader för laddning: 400 kr/h	(Trafa, 2014)

Jämförelsen som sker i simuleringsstudien använder totalkostnader för ett individuellt fordonsekipage. Kostnaden för släpet är således total investeringskostnad multiplicerat med den andel av dagar som släpet används av fordonsekipaget. Det är antaget att släpet har en 100 procent utnyttjandegrad med anledningen att de dagar som ekipaget inte använder släpet används det av ett annat fordonsekipage. Ytterligare beräkningarna som utförts för totalkostnadsanalysen visas i Bilaga 2.

För att avgöra vilken batterikapacitet som krävs i de olika scenarierna har den högsta förbrukningen i respektive simulering valts och avrundats uppåt till närmsta 50-tal. Detta har gjorts då viss marginal är önskvärd ifall oförutsedda händelser sker exempelvis trafikolyckor eller köer. Detta underbyggs av en respondent i intervjustudien som menade att batterinivån vid dagens slut bör under majoriteten av dagarna ligga på ungefär 20 procent.

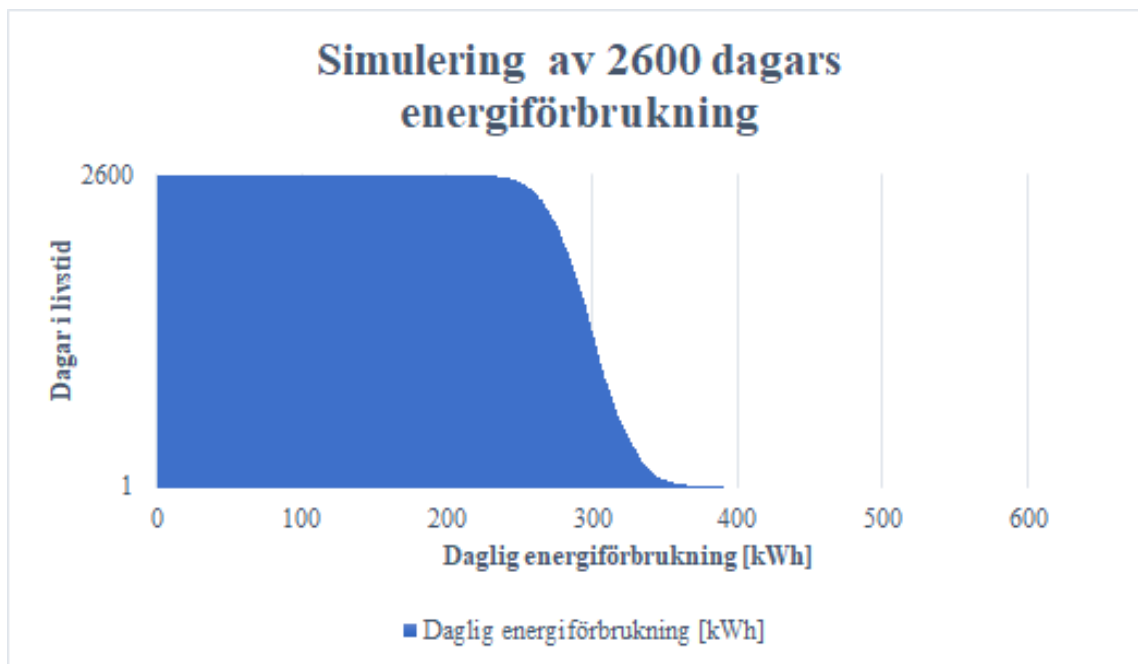
Det krävs emellertid ett påpekande avseende de tre strategiernas genomförbarhet i närtid. Snabbbladdningsalternativet bygger på att infrastruktur är utbyggd och att snabbbladdare är adekvata. Innan snabbbladdning är fullt utbyggt blir kostnaden för ett sådant förfarande större, då exempelvis indirekta kostnader kommer att öka för det alternativet. Strategin med nattladdning för Scenario C och D är inte realiserbara då energidensiteten hos batterier för dagsläget och år 2025 inte möjliggör lastbilar med tillräcklig kapacitet.

Ytterligare ett påpekande som krävs kopplat till simuleringsstudien är angående batterihälsa och hur den bör hanteras. I referensramen nämns att batterier fungerar optimalt vid ett urladdningsdjup på cirka 80 procent. Detta tas inte i beaktande i uträkningar i studien för att förenkla resonemangen. I praktiken innebär det att snabbbladdningsalternativet blir dyrare till följd av att fler kilowattimmar snabbbladdas, att batterikostnaden för nattladdningsstrategin ökar till följd av att batteriet inte behandlas optimalt samt att dagar då släpet nyttjas ökar för strategin med batteribärande släp.

5.1 Scenario A: kort sträcka och låg variation

Scenario A innebär en daglig genomsnittlig körsträcka på 250 km, motsvarande en daglig energiförbrukning på 300 kWh. Standardavvikelsen sätts till 25 kWh, vilket motsvarar ungefär 21 km. Den högsta dagliga energiförbrukningen vid simulering uppgick till 390 kWh som motsvarar 325

km. Den maximala batterikapaciteten har valts till 400 kWh. Simuleringens resultat presenteras i Figur 5.2, där dagarna i dess livstid sorteras utifrån storleken på daglig energiförbrukning.

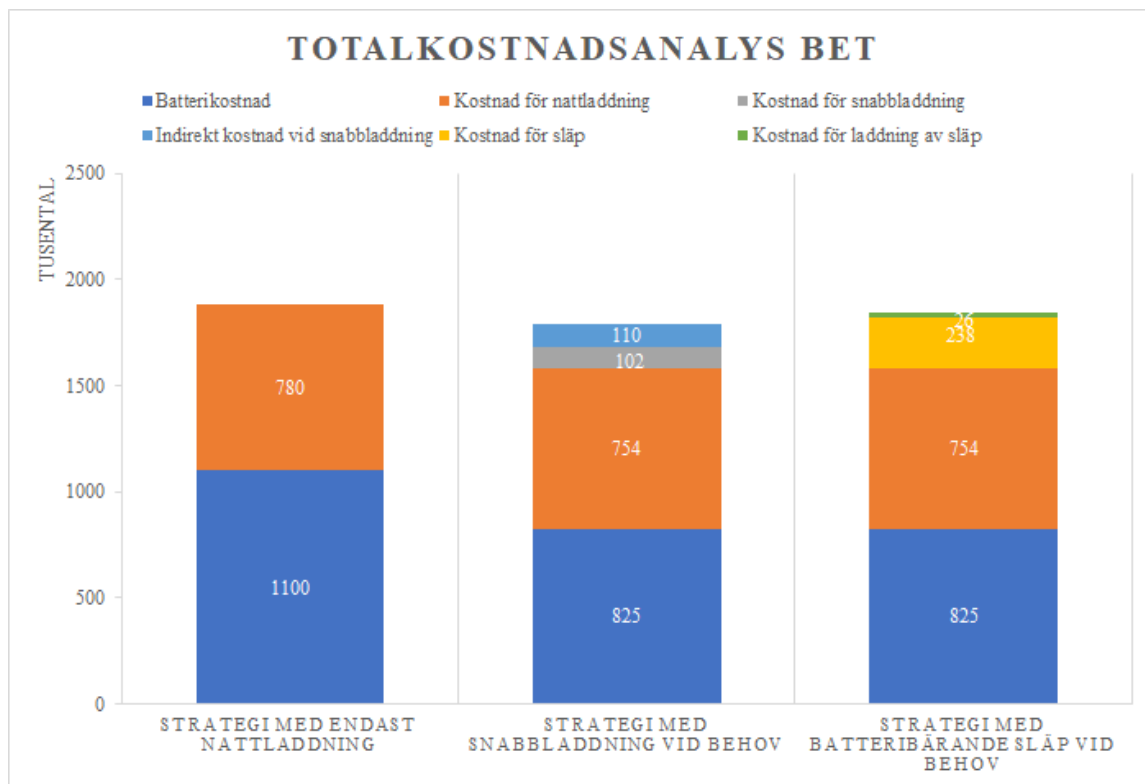


Figur 5.2: Scenario A:s simulering av BET med låg genomsnittlig energiförbrukning och låg variation. Dagarna är sorterade från största till lägsta energiförbrukning.

Med den första strategin sker endast nattladdning och batteristorleken väljs till 400 kWh, en kapacitet som räcker för samtliga uppdrag. Detta innebär en kostnad per kilowattimme på 1,41 kronor och en daglig utnyttjandegrad av batteriet på 75 procent.

Den andra strategin med nattladdning kompletterat med snabbladdning vid behov innebär ett batteri på 300 kWh. Under simulering antas då att alla kilowattimmar som överstiger 300 kWh laddas med hjälp av snabbladdning under dagtid. Kostnaden per kilowattimme blir 1,06 kr vilket är lägre än strategin med enbart nattladdning. Det beror på att daglig batteriutnyttjandegrad för denna strategi är 100 procent jämfört med 75 procent.

Det tredje tillvägagångssättet använder batteribärande släp som range extender de dagar som kräver större förbrukning än vad batteriet på lastbilen klarar. Denna strategi har också batterikapacitet på 300 kWh. Kostnaden per kilowattimme för strategin med batteribärande släp uppgår till 1,23 kr. Resultatet för de tre strategiernas totalkostnad visualiseras i Figur 5.3

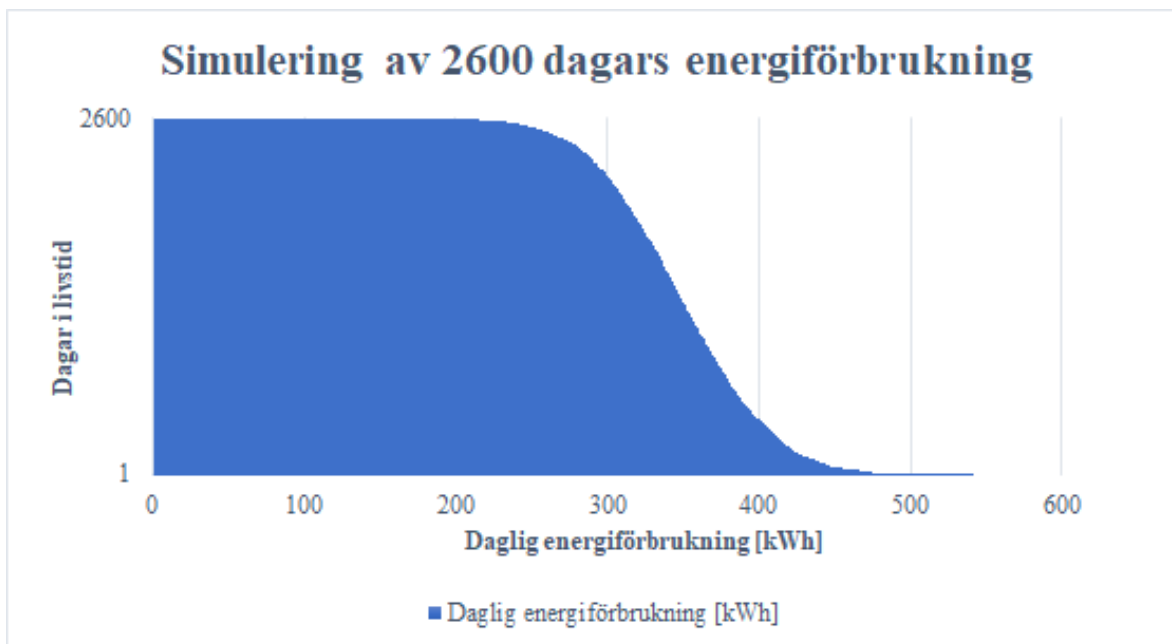


Figur 5.3: Scenario A:s totalkostnadsanalys för BET utifrån strategier presenterade i Tabell 5.1 samt antaganden som presenterats i Tabell 5.2.

Totalkostnad för de 2 600 dagarna för lastbilen inkluderar kostnad för laddning och batteri. Strategin med enbart nattladdning och ett större batteri landar på 1 880 tkr. Alternativet med snabbladdning vid längre uppdrag har en totalkostnad på 1 791 tkr. Att nyttja ett batteribärande släp ger en totalkostnad på 1 843 tkr. Noterbart är att strategin med snabbladdning vid behov är ungefär lika dyrt som enbart nattladdning trots att laddningstariffen för snabbladdning är dyrare. Det beror på att utnyttjandegraden på batteriet är lägre för strategin med enbart nattladdning och därav dyrare per kilowattimme.

5.2 Scenario B: kort sträcka och hög variation

För scenario B antas en daglig sträcka på i snitt 250 km, vilket motsvarar en energiförbrukning på 300 kWh per dag likt scenario A. Den dagliga energiförbrukningens standardavvikelse valdes som det dubbla värdet från Scenario A, 50 kWh vilket motsvarar ungefär 42 km. Som tidigare nämnt har den maximala batterikapaciteten beräknats utifrån det högsta erhållna värdet i simuleringen. Vid simulering av 2 600 dagar erhöles en maximal energiförbrukning på 540 kWh. Simuleringen, med dagarna sorterade från största till lägsta energiförbrukning presenteras i Figur 5.4.

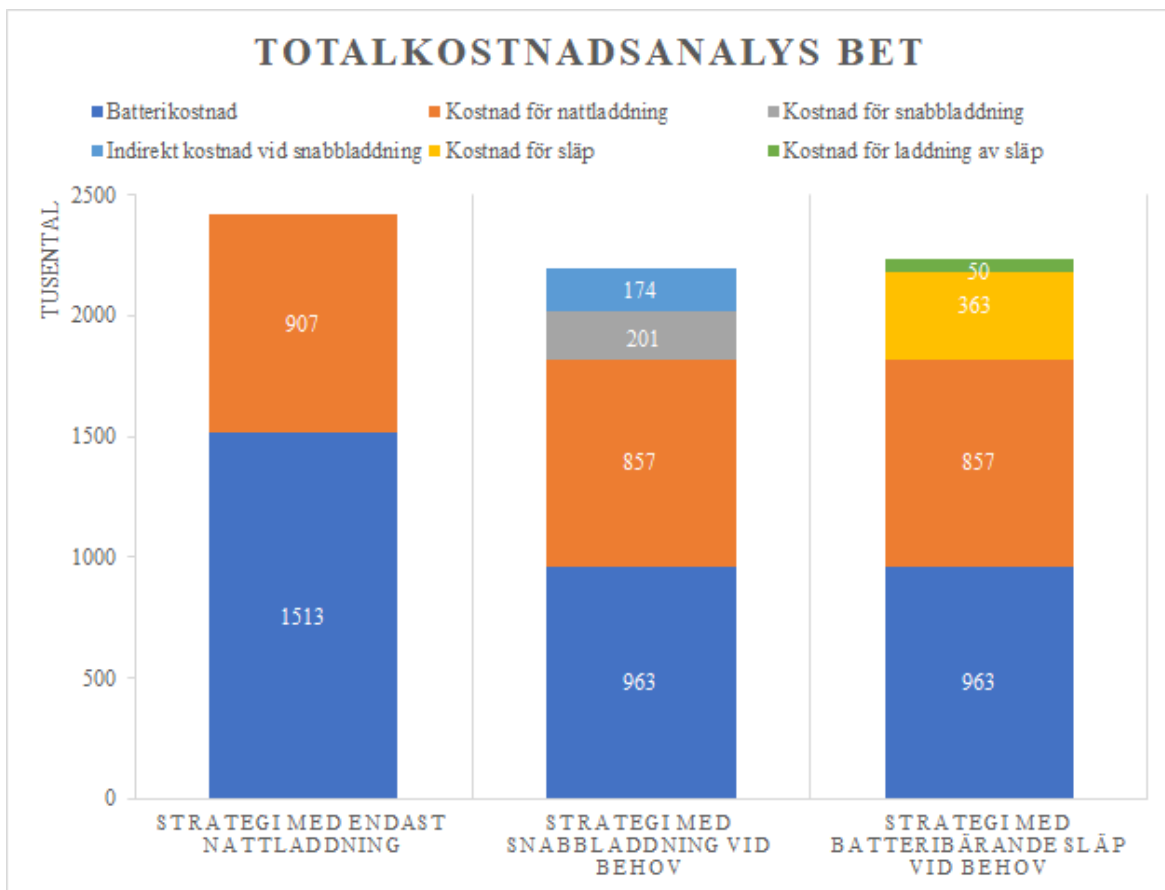


Figur 5.4: Scenario B:s simulering av BET med låg genomsnittlig energiförbrukning och hög variation. Dagarna är sorterade från största till lägsta energiförbrukning.

Den första strategin som illustreras är att lastbilen utrustas med batteri med kapacitet på 550 kWh som laddas under natten vid terminal. Till följd av den höga batterikapaciteten kontra medelenergiförbrukningen på 300 kWh erhålls en kostnad per kilowattimme på 1,67 kr. Strategin har en daglig batteriutnyttjandegrad på 55 procent.

Den andra strategi är att halvera batterikapaciteten på lastbilen och istället snabbadda när batteriet är slut. Under simulering antas här alla kilowattimmar som överstiger 350 kWh laddas med hjälp av snabbaddning. Vid minskning av batteriet från 550 till 350 kWh erhålls en kostnad per kilowattimme på 1,06 kr. Det innebär att utnyttjandegraden av batteriet blir 86 procent dagligen.

Den tredje strategin medför också en batterikapacitet på 350 kWh där ytterligare 200 kWh placeras på lastbilens batteribärande släp. Således erhålls en kostnad per kilowattimme på 1,35 kr och en daglig batteriutnyttjandegrad på 69 procent för hela ekipaget. För att vidare analysera och jämföra dessa tre strategierna har en totalkostnadsanalys utformats, vilket presenteras i Figur 5.5.



Figur 5.5: Scenario B:s totalkostnadsanalys för BET utifrån strategier presenterade i Tabell 5.1 samt antaganden som presenterats i Tabell 5.2.

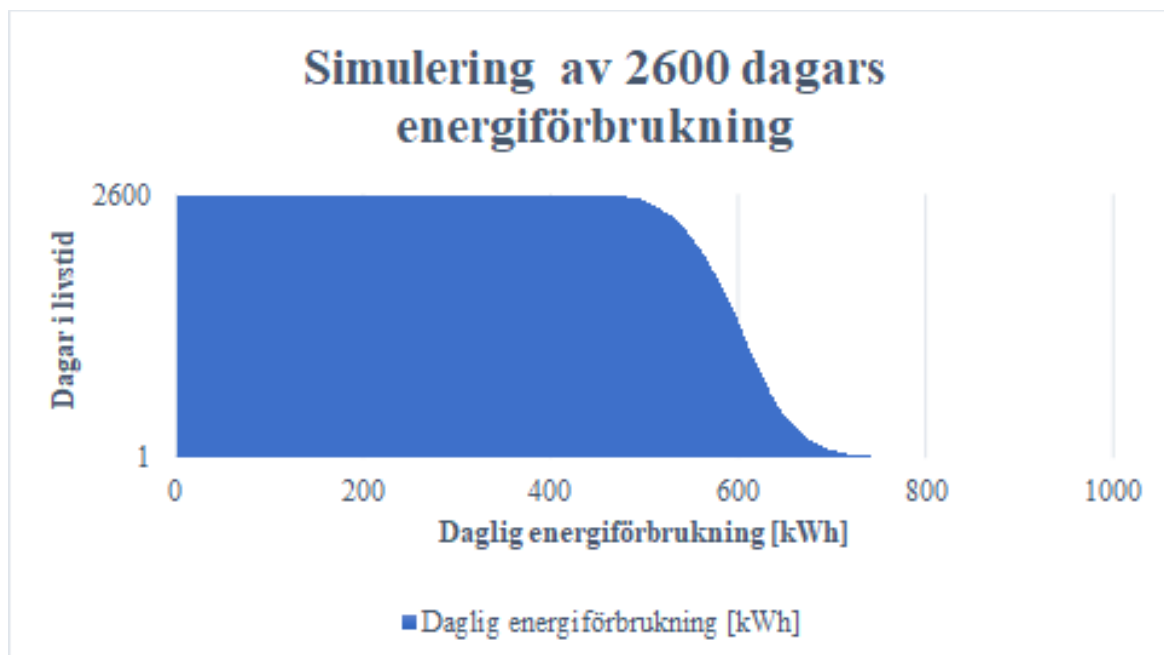
Den vänstra stapeln visar strategin med endast nattladdning. Till följd av batteriet på 550 kWh utgör batterikostnaden majoriteten av totalkostnaden för detta alternativ. Den totala kostnaden blir med denna strategi 2 420 tkr. Den andra stapeln motsvarar strategin med snabbladdning vid behov. De extra kostnaderna som tillkommer är snabbladdningskostnaden på totalt 201 tkr under hela lastbilens livstid. Den översta delen är den indirekta kostnaden som uppgår till 174 tkr. För detta alternativ erhålls en totalkostnad på 2 195 tkr.

Den tredje och sista stapeln motsvarar strategin med batteribärande släp. De kostnader som skiljer sig från de tidigare är kostnaden för att ladda släpet samt släpets fasta kostnad. I detta fall beräknades andelen dagar med släpet att vara nästan 50 procent, vilket gör att släpkostnaden uppgår till 363 tkr. Även här har batterikostnaden minskat jämfört med den första stapeln. Detta till följd av minskning av kilowattimmar på själva lastbilen. Resterande batteri kommer då att placeras på släpet. Det sista alternativets totalkostnad beräknades då uppgå till 2 233 tkr. Sammanfattningsvis visar Figur 5.5 att alla alternativ har liknande kostnader. Men genom att byta från att endast ladda lastbilen på natten till någon av de andra två strategierna är det möjligt att spara 200 tkr.

5.3 Scenario C: lång sträcka och låg variation

Scenario C ska efterlikna körmönster för fordon som dagligen kör i genomsnitt 500 km och därmed en genomsnittlig daglig energiförbrukning på 600 kWh. Standardavvikelsen är 50 kWh (ungefär 42

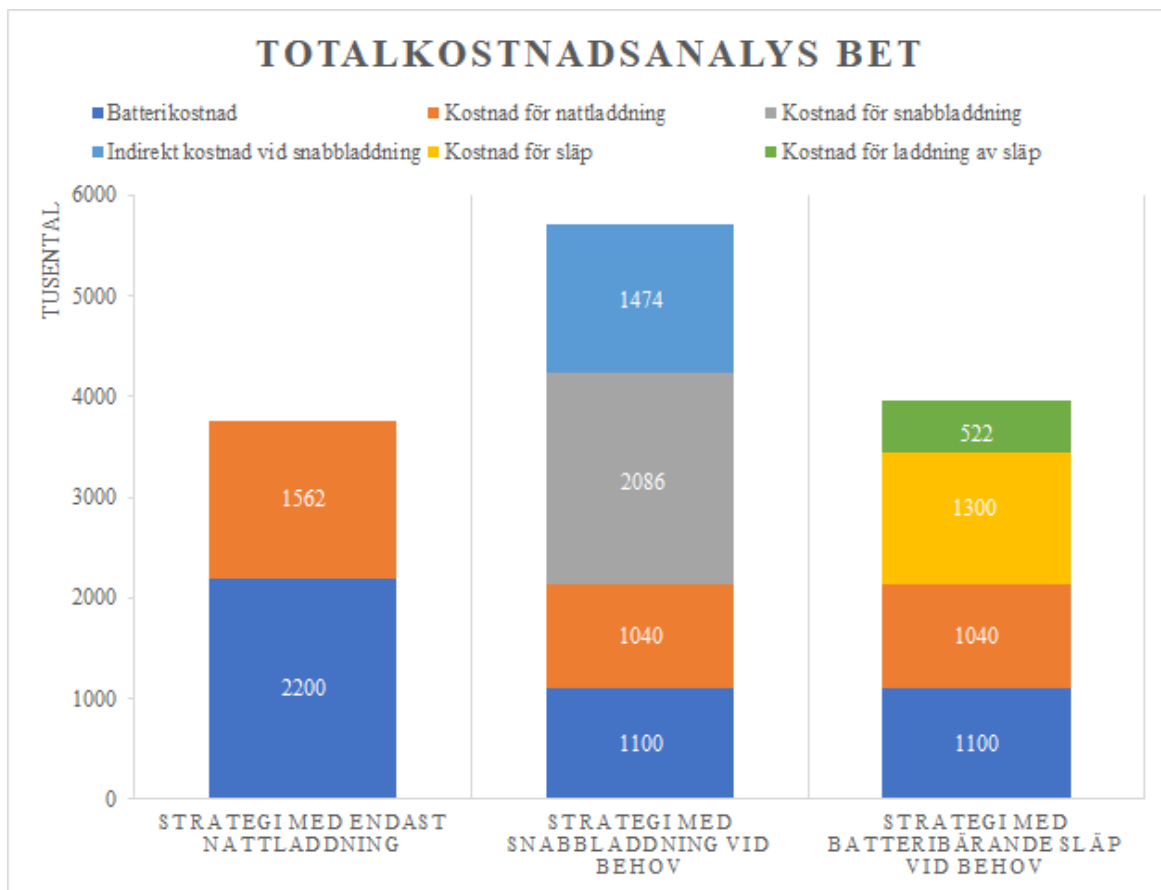
km) vilket är ansatt som en låg variation i daglig energiförbrukning. Simuleringen av de 2 600 dagarna ger att den högsta dagliga energiförbrukningen är 774 kWh. Figur 5.6 visar samtliga dagars körsträckor.



Figur 5.6: Scenario C:s simulering av BET med hög genomsnittlig energiförbrukning och låg variation. Dagarna är sorterade från största till lägsta energiförbrukning.

Det första alternativet för att klara dessa körningar är att förse lastbilen med ett batteri med kapacitet på 800 kWh för att därigenom klara samtliga dagar enbart genom nattladdning. Det ger en utnyttjandegrad för batteriet på 75 procent och kostnad per kilowattimme på 1,41 kr. Alternativet med att förse lastbilen med ett mindre batteri på 400 kWh och snabbbladda vid behov innebär en daglig batteriutnyttjandegrad på 150 procent och en kostnad per kilowattimme på 0,70 kr.

För strategin med batteribärande släp i föreliggande scenario krävs ett utnyttjande av släpet varje dag för att klara körsträckorna. Strategin innebär då att man fördelar de 800 kWh jämnt på lastbilen respektive släpet. Således ger det en liknande kostnad på 1,41 kr per kilowattimme, som första strategin, och en daglig batteriutnyttjandegrad på 75 procent. Vidare presenteras totalkostnadsanalysen för dessa tre lösningar i Figur 5.7.

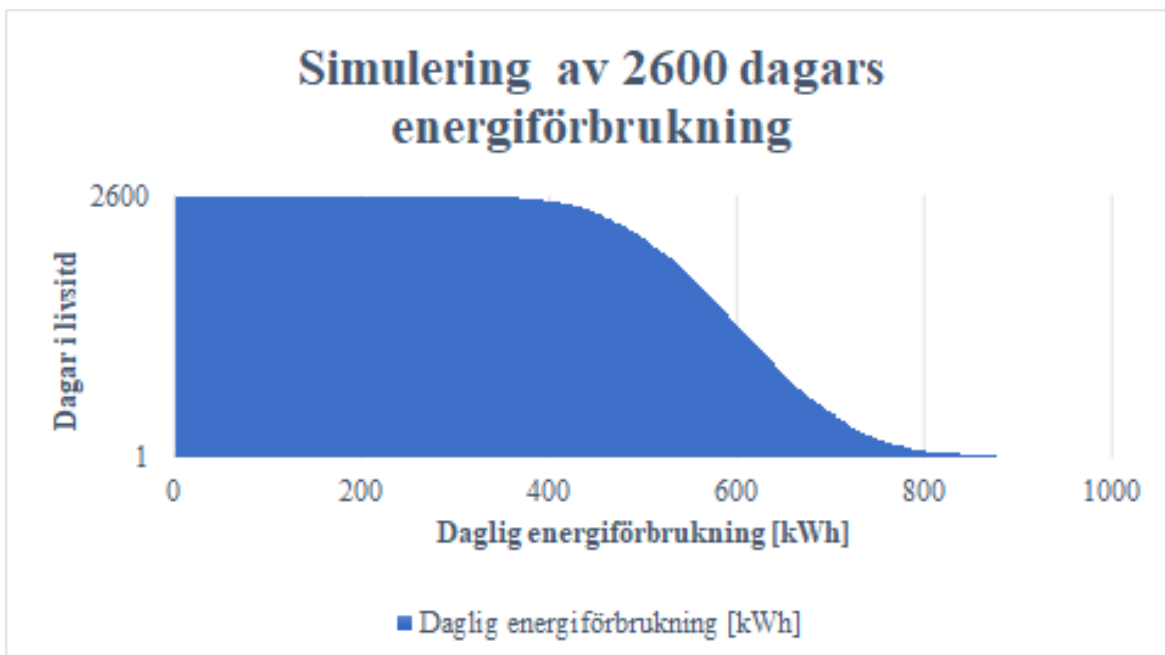


Figur 5.7: Scenario C:s totalkostnadsanalys för BET utifrån strategier presenterade i Tabell 5.1 samt antaganden som presenterats i Tabell 5.2.

Totalkostnadsanalysen visar att alternativet med enbart nattladdningen och en lastbil med batterikapacitet på 800 kWh ger en totalkostnad på 3 761 tkr vilket jämfört med att snabbladda samtliga dagar är 1 939 tkr billigare. Den främsta anledningen till den stora differensen är kostnaderna för att snabbladda, vilket var nödvändigt varje dag. Ett batteribärande släp innebär i detta fall en totalkostnad på 3 961 tkr vilket är något mer än alternativet med enbart nattladdning.

5.4 Scenario D: lång sträcka och hög variation

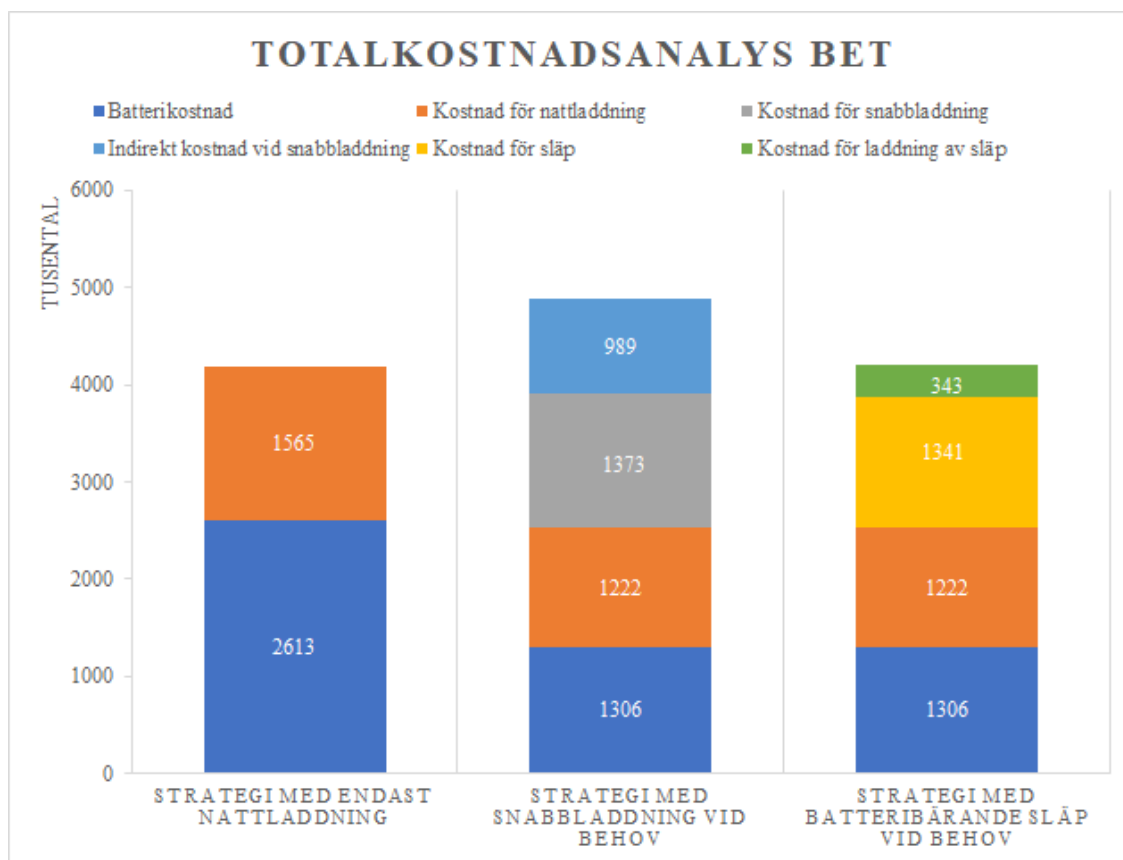
Den fjärde kvarvarande kvadranten i Figur 5.1 är scenario D. Scenariot innebär att den dagliga körda sträckan är hög och ligger på 500 km vilket medför en daglig energiförbrukning på 600 kWh. Scenario D har en hög variation, där standardavvikelsen är 100 kWh (cirka 84 km). En liknande simulering som i tidigare fall presenteras i Figur 5.8. Den högsta dagliga energiförbrukningen uppgick till 921 kWh.



Figur 5.8: Scenario D:s simulering av BET med hög genomsnittlig energiförbrukning och hög variation. Dagarna är sorterade från största till lägsta energiförbrukning.

Strategin med enbart nattladdning innebär att lastbilen utrustas med en batterikapacitet på 950 kWh. Utnyttjandegraden av batteriet för denna strategi är 63 procent och ger en kostnad per kWh på 1,67 kr. I det andra alternativet, där både nattladdning och snabbladdning används, har ett mindre batteri på 475 kWh valts. Utifrån simulering av Scenario D motsvarar det att 22 procent av fordonets totala energiförbrukning måste snabbladdas. Det innebär en högre daglig utnyttjandegrad på batteriet på 126 procent vilket ger en kostnad per kilowattimme på 0,83 kr.

Den sista strategin är som i tidigare fall att nyttja ett batteribärande släp där batterierna fördelas jämnt på lastbilen och släpet. Den totala batterikapacitet bör uppgå till 950 kWh, vilket betyder att 475 kWh kan fördelas på lastbilen och lika mycket på släpet. Simuleringen visar således att cirka 22 procent av den totala energiförbrukningen för fordonet måste levereras av släpets batteri. Denna strategi har en utnyttjandegrad på batterikapaciteten på 67 procent dagligen och en kostnad per kilowattimme på 1,57 kr. Vidare presenteras totalkostnadsanalysen för dessa tre lösningar i Figur 5.9.



Figur 5.9: Scenario totalkostnadsanalys för BET utifrån strategier presenterade i Tabell 5.1 samt antaganden som presenterats i Tabell 5.2.

Alternativet med endast nattladdning har två kostnader: batterikostnad samt nattladdningskostnad. Dessa två kostnader uppgår tillsammans till 4 178 tkr. Då snabbladdningstariffen har antagits vara fyra gånger dyrare än nattladdningstariffen så motsvarar det en markant ökning av laddkostnaden. Dessutom om chauffören inte väljer att snabbladda under lagstadgad rast kommer även en indirekt kostnad i form av löne- och fordonskostnader på den tid som lagts på laddning. Den indirekta tiden uppgår då till en total kostnad på 1 488 tkr. Slutligen motsvarar alternativet med nattladdning och snabbladdning en total kostnad på 5 735 tkr. Om chauffören har möjlighet att ladda på lunchrasten kan den indirekta kostnaden försummas och den totala kostnaden bli 4 247 tkr, vilket är i samma nivå som första alternativet. Strategin med det batteribärande släp har en total kostnad för att ladda släpet 343 tkr. Den extra kostnaden för detta alternativ är släpets totalkostnad som uppgår till 1 341 tkr. Sammanlagt blir kostnaden för strategin med det batteribärande släpet 4 212 tkr, vilket är något högre än strategin med enbart nattladdning.

Sammanfattningsvis så visar totalkostnadsanalysen för Scenario D att det ekonomiskt inte har någon betydelse vilket alternativ som väljs, så länge snabbladdningen sker då fordonet är stillastående. Om inte, så är det mer kostnadseffektivt att välja strategin med enbart nattladdning eller med batteribärande släp.

5.5 Analys av simuleringsstudie

Utifrån simuleringsstudien har ett generellt samband identifierats: låg variation i daglig körsträcka för de individuella enheterna förbättrar förutsättningarna för elektrifiering. Detta då kostnaden per kilowattimme är lägre för scenarierna med låg variation på daglig energiförbrukning oavsett strategival, se Tabell 5.3 och 5.4. Anledningen är att variationen tvingar åkeriet att investera i batterikapacitet som många dagar inte utnyttjas. Lastbilens räckvidd dimensioneras för de mest krävande dagarna vilket ökar totalkostnaden då batteriet är den största kostnadsdrivaren.

Tabell 5.3 Sammanställning av kostnad per kilowattimme och batteriutnyttjandegrad mellan scenarierna för strategin med enbart nattladdning. Förutsatt antaganden presenterade i Tabell 5.2.

	Scenario A	Scenario B	Scenario C	Scenario D
Kostnad per kWh (kr/kWh)	1,41	1,67	1,41	1,67
Daglig batteriutnyttjandegrad (%)	75	55	75	63

Tabell 5.4: Sammanställning av kostnad per kilowattimme och batteriutnyttjandegrad mellan scenarierna för strategin med batteribärande släp vid behov. Förutsatt antaganden presenterade i Tabell 5.2 och att batteribärande släpet utnyttjas dagligen av något ekipage.

	Scenario A	Scenario B	Scenario C	Scenario D
Kostnad per kWh (kr/kWh)	1,23	1,35	1,41	1,58
Daglig batteriutnyttjandegrad (%)	86	69	75	67

Exempelvis är totalkostnaden för strategin med batteribärande släp i Scenario B 20 procent större än för A, 1,8 miljoner jämfört med 2,2 miljoner, eftersom den dagliga variationen i energiförbrukningen är fördubblad i det förstnämnda scenariot. Det innebär en högre finansiell risk för åkerierna då mer kapital måste investeras och kostnaden per kilowattimme ökar i fordon trots att genomsnittliga dagliga körningar är detsamma. Alltså bör åkerier eftersträva att minska variationen i daglig körd sträcka för att minska totalkostnaden och därigenom den finansiella risken med ett batterielektriskt fordon.

I simuleringsstudien är det delvis Scenario A och B som i dagsläget kan realiseras med de batterielektriska lastbilar som introducerats till marknaden i Europa. Detta underbyggs även av Figur 3.8 som visar på andelen last- och batterivikt på olika lastbilar utifrån prognosticerade energidensiteter för år 2025. Det är först vid batterikapacitet på ungefär 800 kWh som batteriernas vikt och volym påverkar lastförmågan. Detta är fallet för strategin med enbart nattladdning i de båda scenarierna med genomsnittliga dagliga körningar på 500 km. Viktmässigt innebär det att lastvikten måste reduceras med ungefär 1 800 kg respektive 2 600 kg (se Tabell 5.5). Därmed om åkeriers körningar är frekvent begränsade av vikt utgör detta en stor barriär för att elektrifiera. Om batteriutvecklingen fortgår, i enlighet med tidigare nämnda prognoser i avsnitt 3.3.3, minskas denna barriär något till år 2030.

Tabell 5.5: Reducerad lastvikt för olika BET år 2025. Baserat på prognoserna i avsnitt 3.3.3.

Batterikapacitet i BET (kWh)	400	800	1 000
Reducerad lastvikt (kg)	300	1 800	2 600

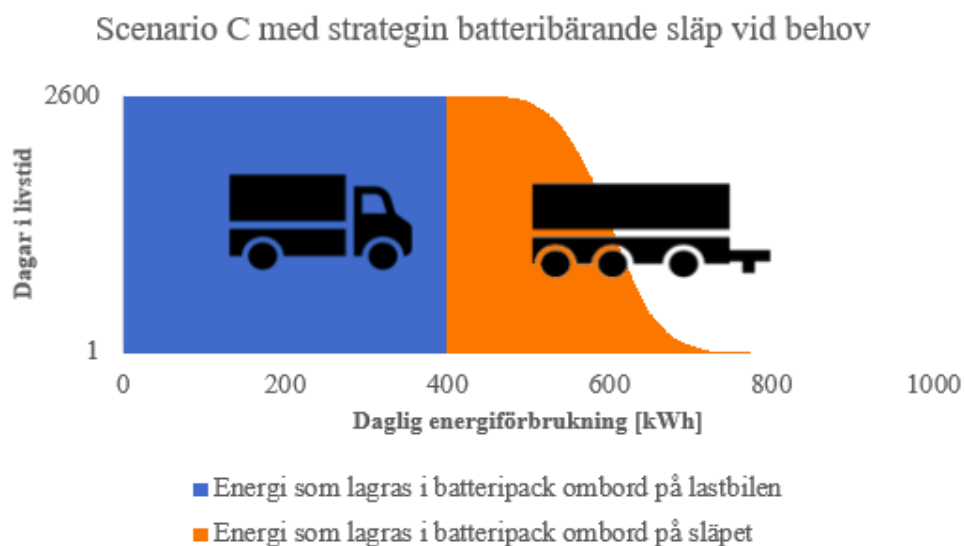
I dessa fall kan ett batteribärande släp användas för att möjliggöra batterielektriska transporter på sträckor runt 500 km, innan energidensiteten i batterierna förbättrats tillräckligt. Utifrån vad

batteriernas energidensitet prognosticeras för år 2025 och hur ett potentiellt batteribärande släp skulle kunna konstrueras kan en uppskattning av den reducerade lastförmågan beräknas. I avsnitt 3.2.8 nämns att ett släps maximala totalvikt inte får överstiga 38 ton, att ett vanligt lastbilssläp väger ungefär 10 ton och att ett batteribärande släp medför uppskattningsvis 50 kg extra vikt i form av kontaktdon och kablage. Utifrån detta och att energidensiteten för batteripack är 0,26 kWh/kg år 2025, enligt uppskattningen i avsnitt 3.3.2, innebär det att för de fyra olika släpen i scenarierna en reducerad lastvikt enligt Tabell 5.6.

Tabell 5.6: Reducerad lastvikt för olika batteribärande släp år 2025. Uppskattningarna utgår från karaktärsdrag hos ett batteribärande släp från avsnitt 3.2.8 och att batteripack med energidensitet 0,26 kWh/kg finns tillgängligt (Europakommissionen, 2020).

Batteribärande släp (kWh)	100	200	400	475
Reducerad lastvikt (kg)	400	800	1 600	1 800

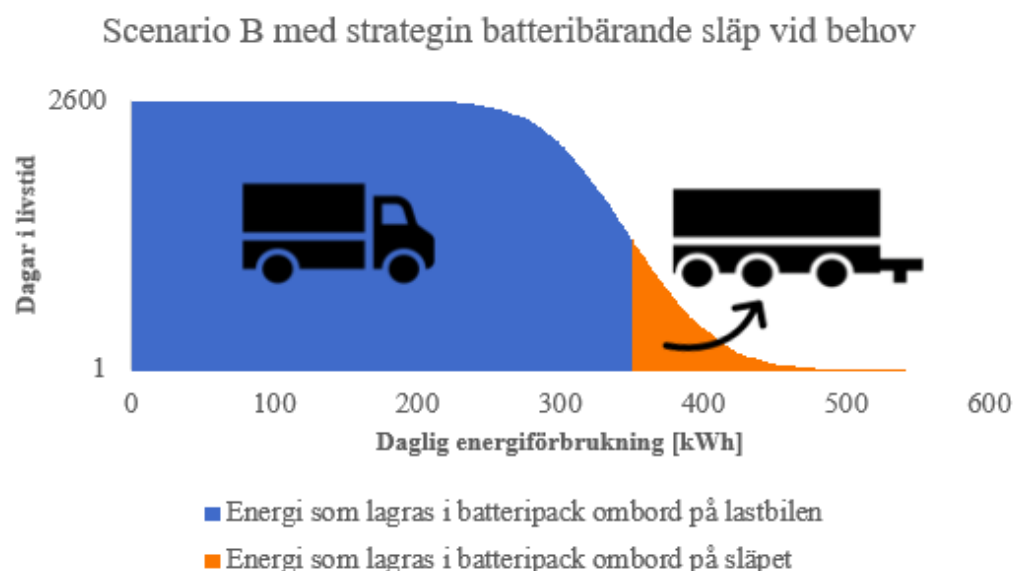
I Scenario C innebär det att lastbilen kombineras med ett batteribärande släp där respektive har en batterikapacitet på 400 kWh, vilket Figur 5.10 visar. En lastbil med batterikapacitet på 400 kWh utgör år 2025, enligt Figur 3.8, inte lika stor svårighet när det kommer till vikt- och volymbegränsningen. Då behöver lastvikten enbart reduceras med ungefär 300 kg på lastbilen och 1 600 kg på släpet (se Tabell 5.5 och 5.6). Därav skulle åkerier med återkommande långväga körningar där vikten inte är en begränsande faktor utnyttja ett batteribärande släp effektivt.



Figur 5.10: Scenario C:s simulering av BET med hög genomsnittlig energiförbrukning och låg variation med en illustration av vilken andel av energiförbrukningen som klaras genom ett batteribärande släp.

Batteribärande släp är inte enbart attraktivt som möjliggörare för långväga transporter innan batteritekniken uppnått högre energidensiteter. Genom att använda ett batteribärande släp de dagar som energiförbrukningen uppskattas gå över lastbilens kapacitet kan hög utnyttjandegrad på lastbilens batteri upprätthållas. Detta framkommer tydligast i scenarierna med hög variation i dagliga körningar. Upplägget i Scenario B innebar att en total batterikapacitet på 550 kWh fördelades genom att placera 350 kWh på lastbilen och 200 kWh på släpet, se Figur 5.11. Med en daglig

energiförbrukning på 300 kWh uppgår då lastbilens batteris utnyttjandegrad till 69 procent. Detta är betydligt högre än de 55 procent som utnyttjas vid strategin med endast nattladdning. Den ökade utnyttjandegraden leder till en lägre kostnad per kilowattimme för lastbilen vilket minskar totalkostnaden över dess livstid.



Figur 5.11: Scenario B:s simulering av BET med låg genomsnittlig energiförbrukning och hög variation med en illustration av vilken andel av energiförbrukningen som klaras genom ett batteribärande släp.

För Scenario B antas dock att släpet utnyttjas samtliga dagar. Utifrån simuleringen erhöles att en lastbil i Scenario B använder släpet hälften av dagarna. Alltså måste andra lastbilar använda släpet de övriga dagarna. Det ställer krav på åkeriernas förmåga att planera framtida körningar så att hög utnyttjandegraden på släpet kan upprätthållas. En hög nyttjandegrad blir mer centralt till följd av att mer kapital binds i ett batteribärande släp. Alltså borde större åkerier med fler fordon ha en större möjlighet att utnyttja ett batteribärande släp effektivare. Detta då de mer sannolikt varje dag har ett fordon som har behov av extra räckvidd.

I totalkostnadsanalysen för Scenario C och D framgår det att snabbladdning är markant dyrare än övriga strategier. Detta förutsätter dock att föraren måste använda arbetstid till att snabbladda. Åkerier bör alltså i största möjliga mån utforma körningar så att förarens tid utnyttjas till att köra fordonet än att vara stillastående och ladda. Om laddningen sker då fordonet ändå står stilla, förslagsvis vid lagstadgad paus, är strategin med snabbladdningen ungefär lika dyr som det batteribärande släpet för både Scenario C och D. Det förutsätter dock välplanerade körscheman så att platser för exempelvis lunchraster tillhandahåller laddinfrastruktur.

Generellt för samtliga scenarier innebär snabbladdning en risk, som inte medtas i simuleringsstudien, eftersom åkerierna blir beroende av extern infrastruktur. Snabbladdningsinfrastruktur omgärdas i nuläget av många osäkerheter som måste elimineras för att denna strategi ska vara attraktiv. I simuleringsstudien antas stationer anpassade för tunga fordon finnas tillgängliga utmed större vägar vilket inte är troligt redan år 2025. Dessutom är nivån på laddningsavgiften, som i scenarioanalysen antogs vara 4 kr/kWh, osäker eftersom den kommer bero på hur affärsmodellen kring dessa stationer

byggs upp. En annan osäkerhet, med stationer för snabbladdning, är risken för köbildning vilket snabbt kan öka åkeriernas kostnader kraftigt. Utfallen i Scenario C och D visar detta tydligt då andelen indirekta kostnader utgör en betydande del av totalkostnaden.

6 Diskussion

I kapitlet diskuteras resultaten från intervju- och simuleringsstudien tillsammans med teoretiska modeller och underlag från referensramen. Kapitlet ämnar inledningsvis att diskutera åkeriers barriärer för en övergång till elektrifiering som har identifierats. Den andra halvan av kapitlet diskuterar vilka implikationer ett införande av batteribärande släp kan innebära för åkerier.

6.1 Barriärer för elektrifiering av långväga batterielektriska transporter

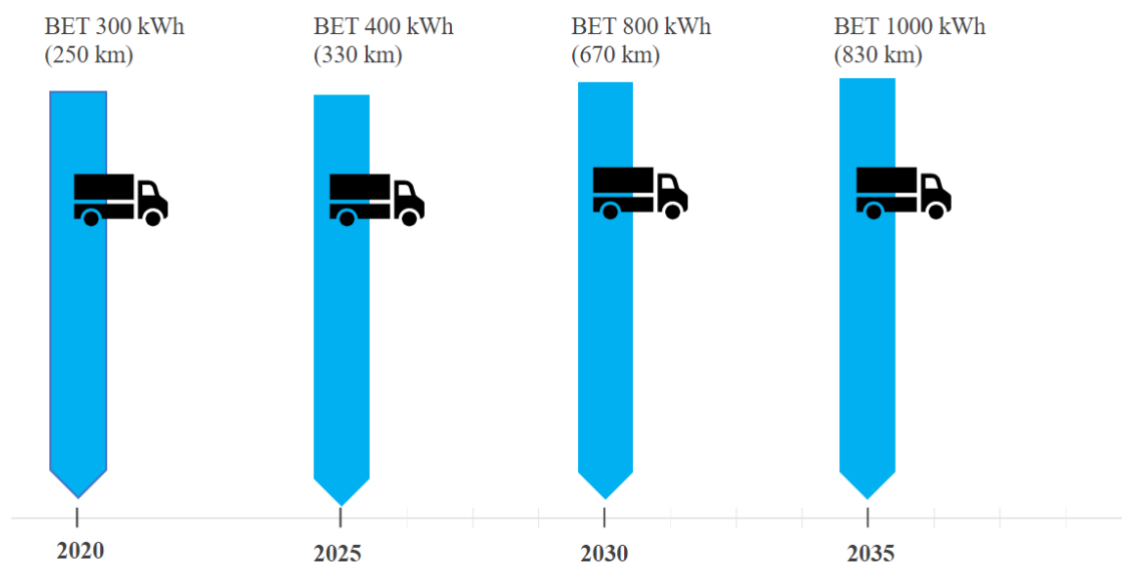
En av studiens frågeställningar behandlar barriärer för åkerier att elektrifiera sin verksamhet. Detta behöver besvaras för att kunna avgöra huruvida en range extender i form av batteribärande släp kan vara en lämplig lösning för att underlätta elektrifiering av långväga transporter i Sverige. I avsnittet diskuteras vilka dessa barriärer kan vara.

6.1.1 Tekniska barriärer

I intervjustudien betonade tillfrågade åkerier ett antal osäkerheter kopplade till batterielektriska fordon som stävjar övergången till långväga batterielektriska transporter. Dessa osäkerheter går att koppla till nuvarande batteriteknik. Tillfrågade åkerier menade på att dagens batterier är tunga, voluminösa och därav saknar den kapacitet som krävs för att nå den räckvidd långväga transporter kräver. I intervjustudien förmedlade åkerierna att deras transporter redan begränsas av vikt eller volym. De batterier som är tillgängliga i nuläget skulle begränsa åkeriers lastkapacitet ytterligare, samtidigt som de inte klarar den räckvidd som krävs. Därav är batteritekniken en barriär som stävjar åkeriernas övergång till långväga batterielektriska transporter.

Politiken har möjlighet att göra vikten till en mindre framträdande barriär. Ett tillvägagångssätt vore att genom lagar och regleringar tillåta högre maximal vikt för batterielektriska transporter. På så vis blir batteriernas tyngd ett mindre problem och övergången till batterielektriska transporter möjliggörs.

Utifrån tidigare forskning som presenterats i rapporten går det argumentera för att utvecklingen av energidensiteten i batterier går fort. Således kommer batteriernas tyngd och volym successivt bli mindre begränsande faktorer i samband med utvecklingen. Högre energidensitet innebär att de batterielektriska lastbilarna kommer bli lättare och således kan längre räckvidd för batterielektriska transporter uppnås. En uppskattning på möjliga räckvidder för BET i framtiden illustreras med en tidslinje i Figur 6.1. Uppskattningarna baseras på prognoser som presenteras i avsnitt 3.3.3.



Figur 6.1: En uppskattning på när batterielektriska lastbilar med räckvidder på mellan 330 km och 830 km kommer finnas tillgängliga för åkerier. Elförbrukningen antas vara 1,2 kWh/km. Baseras på prognoser i avsnitt 3.3.3.

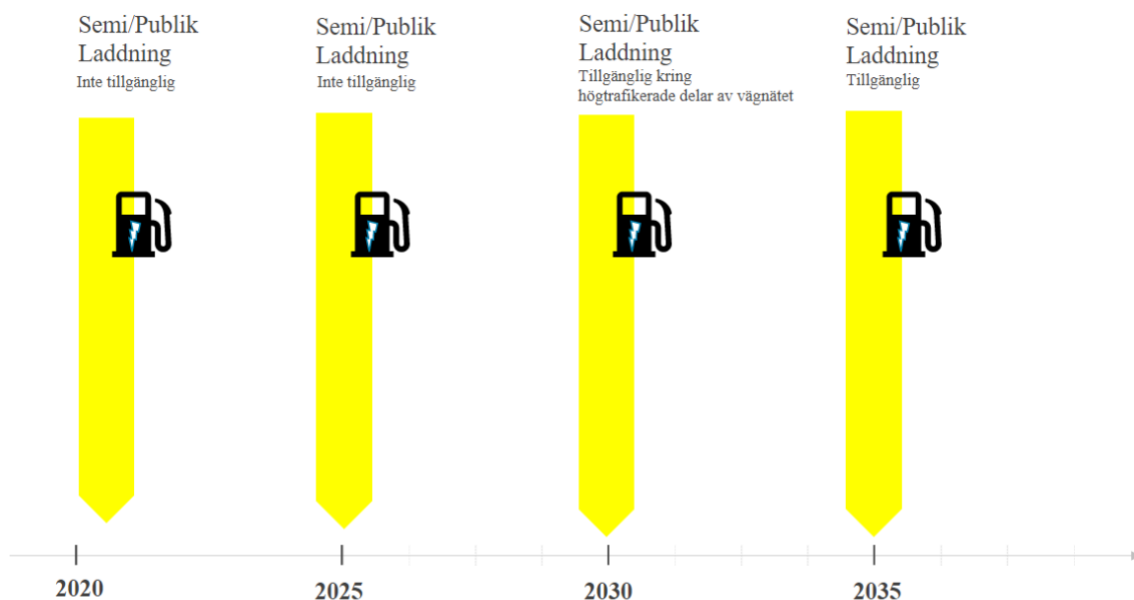
6.1.2 Barriärer kopplade till laddinfrastruktur

Samtliga respondenter hade i något avseende farhågor rörande infrastrukturen för laddning och dess utveckling. Detta återspeglas väl i litteraturen då det anses vara en mycket betydande faktor för BET-marknadens existens. Trafikverkets prognoser pekar på att 60 procent av de registrerade tunga lastbilarna i Sverige kommer vara batterielektriska 2040. Dessa prognoser bygger på premissen att infrastrukturen inte är en begränsande faktor. Det har vidare konstaterats att för varje BET i drift krävs en depåladdare, vilket kommer motsvara ungefär 70 000 laddare. Det kommer krävas 5 000 till 14 000 semi-publika laddare och 3 000 till 6 000 publika laddare.

6.1.2.1 Publik laddning, semi-publik laddning och depåladdning

Kostnaderna för att bygga ut depåladdning kommer i stor utsträckning hamna på de företag som har valt att investera i BET-tekniken. För att avgöra hur politiken bör behandla frågan går det göra paralleller mellan BET och BEV. De främsta incitamenten för att öka investeringsviljan hos aktörer för att bekosta privata laddare till BEVs ansågs enligt IEA vara förmånliga skatter för tekniken, olika former av rabatter samt diverse skatteavdrag för inköp av utrustning. Regeringen har redan beslutat om att ge stöd till laddinfrastruktur för tunga lastbilar. 500 miljoner år 2021 och 550 miljoner år 2022. Detta stöd avser laddinfrastrukturen i sin helhet. Det är inte specificerat om eller hur stödet ska finansiera depåladdare eller annan form av infrastruktur. Trots bristen på centrala riktlinjer och direkta subsidier var flera av respondenterna villiga att bygga depåladdare i framtiden.

Intervjustudiens respondenter såg även laddinfrastrukturens kapacitet att ladda fordon på en kort tid, för att minska operativa störningar, som en barriär. Detta avser främst de publika och semi-publika laddstationerna där fordon stannar för att ladda. För att tillgodose respondenternas krav på laddning under 45 minuter med minimal kötid krävs ett robust system med laddare av hög effekt. En tidshorisont för när den publika och semi-publika laddinfrastrukturen förväntas vara utbyggd illustreras nedan i Figur 6.2.



Figur 6.2: En tidshorisont för när den publika och semi-publika laddinfrastrukturen förväntas vara tillgänglig. Tidshorisonten baseras på antaganden av Trafikverket (2021) rörande förutsättningar för ekonomisk lönsamhet för utbyggnaden av laddinfrastruktur och prognos för tillväxten av BET i Sverige.

Den publika laddinfrastrukturen bör primärt byggas utefter vägsträckor där Trafikverket har identifierat en stor mängd godstransporter. Ett problem i anknytning till detta är den del av vägnätet som inte ligger i anslutning till högt belastade vägsträckor. På dessa platser är anslutningspriset högre och förutsättningarna för lönsamhet sämre för laddstationsägarna. I dagsläget är utbyggnaden av den publika laddinfrastrukturen obefintlig. Infrastrukturen kommer troligtvis byggas ut av privata aktörer. Det går därför att anta att det är längs vägsträckor med en stor mängd trafikarbete som infrastrukturen byggs ut först. Denna del av den publika laddinfrastrukturen kan tänkas vara utbyggd 2030. Delen av infrastrukturen som avser de vägsträckor som inte är i anslutning till högt belastade vägsträckor kan förväntas vara utbyggd först 2035, då de har sämre förutsättningar för ekonomisk lönsamhet.

Den semi-publika laddinfrastrukturen byggs ut i anslutning till knutpunkter i landets logistiksystem och bör ha bättre förutsättning för ekonomisk lönsamhet. Denna del av infrastrukturen kan förväntas vara utbyggd runt 2030. Precis som i fallet med depåladdare kommer politiken behöva ge stöd till aktörer för att ha en chans att nå utfästa hållbarhetsmål. Aktuella stöd kan utformas på ett liknande sätt för publika- och semi-publika laddstationer och depåladdare. Skatteavdrag för investering i tekniken och direkta subsidier i form av rabatter.

Ett problem som nämnts tidigare är tiden det tar att ladda ett fordon. Det har konstaterats att laddning för en BET i dagsläget tar betydligt längre tid än att tanka en konventionell lastbil som drivs av diesel och/eller HVO. De publika och semi-publika laddstationerna kan tänkas komma att fungera likt dagens tankstationer. Det kan därför finnas en risk för negativa nätverkseffekter. Ju fler åkerier som tillägnar sig tekniken desto större belastning blir det vid de publika och semi-publika laddstationerna. Detta kan resultera i köbildning och innebär ytterligare operativa störningar för en åkerinäring med höga krav på punktlighet och hög nyttjandegrad. En av respondenterna uppmärksammande detta

problem och hade som förslag att introducera en central applikation. Syftet med denna är att möjliggöra tidsbokning av laddning för att undvika risken att fastna i köer

6.1.2.2 Elnätet som barriär

Vissa av åkerierna uttryckte en farhåga rörande huruvida Sveriges elnät i dagsläget är kapabelt till att försörja transportsektorns ökande behov av elektricitet. Trafikverket har konstaterat att det inte existerar några tekniska hinder för en utbyggnad. Det är tillståndprocessen som är flaskhalsen i utbyggnaden och måste gå snabbare. En aspekt av problemet är att utbyggnad av elnätet bara får ske på konstaterad efterfrågan, inte förväntad efterfrågan. Detta stävjar aktörer som vill ha en proaktiv ställning i frågan, och bidrar till att utbyggnaden sker långsamt. Teknikföretagen konstaterar att utformningen av Sveriges elnät är en av de största utmaningarna för elektrifieringsprocessen av svenska åkerier. I dagens takt prognosticeras det att ett elnät med kapacitet för att tillgodose en elektrifierad transportsektor är färdigställd tidigast 2030. Reglering rörande tillståndprocesserna måste ses över från politiskt håll för att skapa de förutsättningar som krävs för en elektrifierad transportsektor.

6.1.3 Finansiella och marknadsmässiga barriärer

I dagsläget finns det ett antal finansiella och marknadsmässiga barriärer för elektrifiering av tunga transporter. Utbudet av BET är ett exempel på en sådan barriär. De modeller som finns på marknaden idag är enligt respondenterna tre till fyra gånger dyrare än konventionella fordon som drivs av diesel och/eller HVO. Detta riskerar att bli en utmaning för åkerier. Även om investeringskostnaden har potential att bli lägre framgent med bättre batteriteknik förändras kapitalstrukturen sannolikt. Åkerinäringen är en bransch med små marginaler, en förändring i kapitalstrukturen med större kostnader tidigt i livscykeln kan bli utmanande och potentiellt generera likviditetsbrist.

Dagens pris på BET och utbyggnad av depåladdare gör att transporterna i sin tur blir dyrare. I intervjustudien sade majoriteten av tillfrågade åkerier att de noterat högre efterfrågan på hållbara transporter, men att transportköparna sällan är villiga att betala mer för hållbara transporter. Det noterades dock här en viss diskrepans i svaren för olika segment. Bland annat att offentlig sektor, företag med miljöprofil samt industriföretag med höga utsläpp är villiga att betala mer för hållbara transporter. För att identifiera segment där transportköpare är villiga att betala för mer hållbara transporter krävs ytterligare studier.

Politiken har möjlighet att påverka den merkostnad som BET innebär för åkerier och således minska den finansiella barriären. Det kan göras genom att exempelvis öka reduktionsplikten eller tillämpa klimatpremier kopplade till merkostnaden av BET. Ett annat politiskt verktyg är att artikulera efterfrågan på hållbara transporter genom att uppföra offentliga upphandlingar med klimatkrav vilket ökar incitamenten för åkerierna att köpa BET och erbjuda hållbara transporter. Båda tillvägagångssätten stärks av flertalet respondenter som viktiga verktyg.

6.1.4 Avsaknad av långsiktigt politiskt ledarskap

Flertalet åkerier uttryckte en avsaknad av långsiktigt tydligt politiskt ledarskap som en barriär. Detta anses vara nödvändigt för att underlätta för åkerierna att fatta beslut om val av teknik. Osäkerheter kring vilken teknik som ska subventioneras bör reduceras. Åkerinäringens låga rörelseresultat tillåter inte att investering sker i fel teknik, och detta skapar en återhållsamhet.

För att reducera osäkerheterna krävs samarbete inom EU från politiskt håll enligt Trafikverket. Detta för att åstadkomma standardisering av kontakter, gränssnitt och dylikt inom regionen. När det saknas

långsiktigt politiskt ledarskap skapas farhågor för åkerierna som går att koppla till teknologisk inlåsning. Eftersom det saknas ett tydligt politiskt ledarskap är valet av teknologi för åkerierna ett svårt beslut. Den teknologi som åkerierna väljer riskerar att bli obsolet om den inte blir branschstandard. Med ett långsiktigt politiskt ledarskap minskar åkeriernas farhågor vad gäller val av teknologi och således kan övergången till mer hållbara transporter främjas.

Dagens situation med avsaknad av långsiktigt politiskt ledarskap samt åkeriernas barriärer går att analysera utifrån spelteoretiska argument. Avsaknaden av långsiktigt politiskt ledarskap skapar osäkerheter och bygger en barriär som stävjar åkeriernas övergång till batterielektriska transporter. Barriären gör att åkerierna avvaktar vilket gör att behovet på infrastrukturen inte artikuleras. Om behovet inte artikuleras från åkerierna kan politikerna inte ta beslut om att bygga ut elnätet och försvårar därmed att adekvat infrastruktur blir tillgänglig. Således hamnar de två intressenterna, åkerierna och politikerna, i en Nash-jämvikt. Ingen av intressenterna har då anledning att ändra sin strategi om inte motparten gör det. Nash-jämvikten som uppstår i denna situation illustreras i Figur 6.1. Det mest samhällsnyttiga alternativet vore att både åkerier och politiker investerar i BET respektive infrastruktur eftersom det skulle i större utsträckning möjliggöra ett skifte till hållbara transporter.

		Åkerier	
		Avvakta	Investera
Politiker och beslutsfattare	Avvakta	(0,0)	(0,-)
	Investera	(-,0)	(+,+)

Figur 6.3: Nash-jämvikt uppstår då ingen intressent har anledning att ändra strategi om inte motparten ändrar. I denna situation (övre vänstra kvadrant) vill inte åkerier investera i BET om inte politiken investerar i infrastruktur och politiken vill inte investera i infrastruktur om åkerierna inte investerar i BET. Det mest samhällsnyttiga alternativet vore att båda intressenterna investerade.

6.1.5 Kompetens- och planeringsmässiga barriärer

Elektrifieringen är en osäker transformation och en följd av detta är att många barriärer ännu inte upptäckts av branschen. I intervjustudien delgav två respondenter som i dagsläget har batterielektriska lastbilar att det ställer nya krav på verksamheten. Detta då batterielektriska lastbilar inte kan användas på samma sätt som konventionella lastbilar. Dessa ekipage kräver större mängd planering med avseende på rutt och lastvikt för att klara den planerade sträckan. Denna transformation kommer innebära en för såväl åkerier som transportköpare. Hur problematisk inlärningskurvan blir beror till

stor del på hur pilottester och testbäddar utformas. Det är således viktigt att åkerier har möjlighet att förbereda sig för den nya tekniken, samla kunskap och således överkomma denna kompetens- och planeringsmässiga barriären.

Vidare visade simuleringsstudien att det för åkare är viktigt med en låg variation i körsträcka för att minska kostnader. En minskad variation kan uppnås genom en ökad verksamhetsmässig planering. Exempelvis genom att designera lastbilar till att åka samma rutt varje dag, eller att använda sig ruttoptimering. Den ökade planeringen kan då bli en barriär för åkerierna som potentiellt inte har utrymme att lägga resurser på detta.

6.2 Implikationer av batteribärande släp för åkerier

Batterielektriska lastbilar förväntas inte kunna köra långväga transporter innan flertalet barriärer som berördes i avsnitt 6.1 har överkommit. Dessa skapar en möjlighet för innovationer att överbygga existerande barriärer för långväga, batterielektriska transporter. Batteribärande släp som range extender är en sådan innovation som kan ha många implikationer för åkerier, både direkta och indirekta, för åkeriers verksamhet genom internaliseringar av dagens farhågor.

Följande avsnitt behandlar de implikationer åkerier potentiellt erhåller av ett batteribärande släp. Implikationerna inkluderar men är inte begränsade till längre räckvidd, planeringsmässiga implikationer, finansiella implikationer samt djupare samarbeten och partnerskap.

6.2.1 Längre räckvidd

En barriär som framkommit i såväl intervjuerna som litteraturen är den minskade räckvidden som BET medför jämfört med konventionella lastbilar. En barriär som kan överbryggas med hjälp av ett batteribärande släp. Genomgående i rapporten har det batteribärande släpets karaktäriserats som en range extender och det finns ett antal sätt ett sådan kan användas.

Ett tillvägagångssätt kan vara att designera ett släp till att dagligen användas av en specifik batterielektrisk lastbil. Längre räckvidd uppnås genom att släpet adderar batterikapacitet till ekipaget och ger därmed möjligheten att köra längre sträckor än vad dagens BET klarar av. Merparten av de BET som finns på marknaden eller förväntas produceras inom de närmaste åren har en ungefärlig räckvidd på 300 km. Intervjustudien indikerar att körsträckor på över 500 km inte är ovanligt förekommande. En implikation av det batteribärande släpet är därmed att långväga transporter kan elektrifieras i ett tidigare skede.

Förfarandet med att designera ett batteribärande släp till en lastbil riskerar emellertid att öka kapitalbindning och således driva kostnader de dagar då släpet inte är nödvändigt. I avsnitt 5.6 presenteras att i de fall med lägre genomsnittsförbrukning än batterikapacitet, kan släpet vara en lösning för att hantera de dagar då kapaciteten i lastbilen inte är tillräcklig. De dagar då energiförbrukningen är lägre än genomsnittet kan släpet användas av en annan lastbil. Därmed är en implikation av det batteribärande släpet att det i vissa fall kan vara gynnsamt med någon form av flottperspektiv där flera bilar kan nyttja släpet för att säkerställa en tillräcklig nyttjandegrad. Alltså kan större åkerier tänkas ha en bättre möjlighet att använda ett batteribärande släp effektivt.

Vidare finns även möjligheten att öka utnyttjandegraden på lastbilen genom att förbruka energin som lagras på släpet först och därefter byta till ett fulladdat släp, så kallad trailer swapping. Detta kan illustreras med ett kort exempel. Pondera en BET med 25 mil räckvidd i kombination med ett släp med 25 mil räckvidd. Om detta ekipage utför uppdrag på 30 mil, kommer rutten kunna köras fem gånger

innan laddning krävs, en sträcka på 150 mil. Detta givet att lastbilen kan byta till ett fulladdat släp i slutet av sträckan. Detta har potential att elektrifiera transporter, utan att kompensera med nyttjandegraden av lastbilen. Detta må vara ett väldigt tillrättat exempel, men det bör vara möjligt att extrapolera till liknande situationer. Tidigare i rapporten har det konstaterats att 90 procent av alla transporter är kortare än 30 mil. Ett batteribärande släp möjliggör för BET att genomföra flera sådana uppdrag under en dag.

Implikationer kopplat till längre räckvidd kan destilleras till två huvudsakliga implikationer. Dels ökar möjligheterna att ha en god nyttjandegrad av en batterielektrisk lastbil då mindre frekvent laddning krävs. Dels kan åkerier fortsätta att genomföra många av de långväga uppdrag de har i dagsläget trots ett skifte till batterielektriska lastbilar.

6.2.1.1 Oberoende från publik laddinfrastruktur

En annan barriär för BET är dess beroende av den publika laddinfrastrukturen. Vid användning av ett batteribärande släp är åkerier i mindre grad beroende av publik och semi-publik laddinfrastruktur. Istället kan ekipagen klara hela den dagliga energiförbrukningen och ladda då det är stationärt, vilket har ytterligare fördelar med lägre elpriser utanför effekttoppar. Därav gör sig BET inte lika beroende av publik laddinfrastruktur vid användning av batteribärande släp.

Det batteribärande släpet medför att fler kilowattimmar laddas på terminal eller depå. Detta har i sin tur en implikation i ökade möjligheter att ladda utanför effekttoppar vilket medför en lägre kostnad för drivmedel även om den är marginell och riskerar att neutraliseras till följd av högre kostnader för bundet kapital. Hur sambandet ter sig kräver dock vidare studier.

6.2.2 Planeringsmässiga implikationer

En implikation av släpet är att komplexitet med avseende på planering kan både öka och minska. Det batteribärande släpet ökar ekipagets sammanlagda batterikapacitet, vilket leder till att ruttberäkningar blir mindre känsliga. Exempelvis kan ett åkeri som är osäker på huruvida en BET klarar en transport nyttja ett batteribärande släp och således minska farhågor kopplade till räckvidd och planeringskomplexitet. Vissa bruksmönster för det batteribärande släpet ökar emellertid komplexiteten i ett system. Om ett åkeri väljer en strategi med trailer swapping som beskrevs i avsnittet om längre räckvidd ökar komplexiteten då fler entiteter måste synkroniseras genom planering. Implikationer med avseende på planering är således tvetydiga och beror på bruksmönster.

Det framgick även i en intervju att en respondent ofta begränsades av vikt på lastbilen men inte på släpet. Det är en farhåga för respondenten att om samtliga batterier monteras på den drivande lastbilen riskerar lastförmågan att reduceras avsevärt. Detta leder till ytterligare en implikation för det batteribärande släpet, det möjliggör för spridning av batterivikten över hela ekipaget, vilket potentiellt kan möjliggöra att lastvikt nyttjas i högre grad.

Ytterligare en implikation som framgick från intervjuer berörde kompetensläget hos åkerierna. Två respondenter har i dagsläget elektriska lastbilar. Dessa objekt kunde ge en nyanserad bild om fördelar och nackdelar med elektriska lastbilar och därigenom hur elektrifieringen kan se ut i praktiken. Det batteribärande släpet kan låta aktörer som dessa respondenter elektrifiera längre sträckor och experimentera med tillvägagångssätt för BET och således säkerställa kompetens som i framtiden kan vara värdefull.

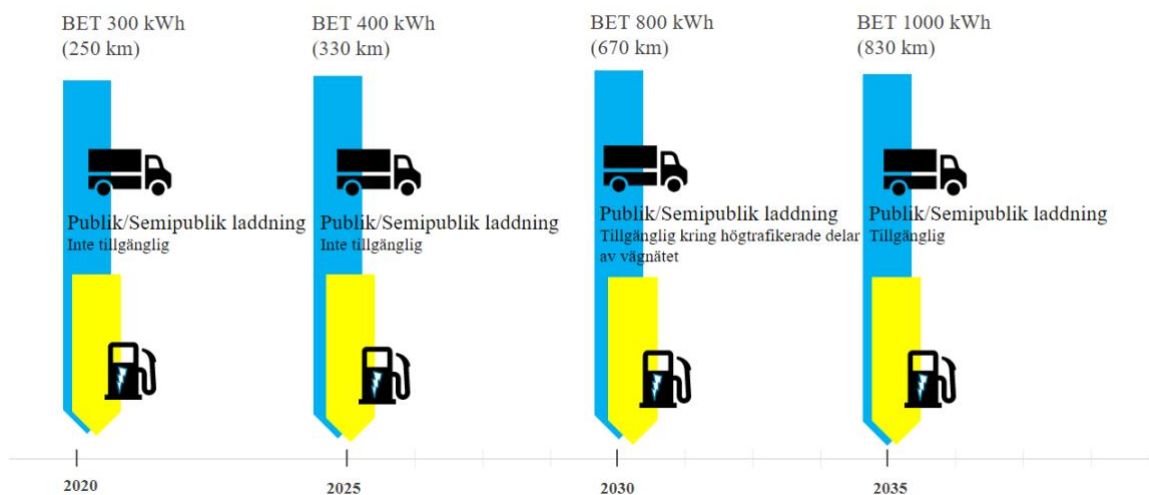
6.2.3 Finansiella implikationer av ett batteribärande släp

En barriär för elektrifiering av tunga transporter är den höga inköpskostnaden där batterier är den stora kostnadsdrivaren. Visserligen är ett batteribärande släp en större investering än ett konventionellt släp till följd av ökade batteri- och kringkostnader. Emellertid visade totalkostnadsanalyserna i simuleringsstudien att det nödvändigtvis inte behöver vara dyrare med en investering i ett batteribärande släp jämfört med större batteri på lastbilen eller snabbaddning vid behov. Detta förutsätter emellertid att det batteribärande släpet har en hög utnyttjandegrad antingen av samma fordon eller av flertalet fordon. Vidare har rapporten tidigare presenterat de svårigheter som en strategi med snabbaddning innebär. Således går det att argumentera för att det batteribärande släpet inte har några större finansiella implikationer än exempelvis snabbaddning. Det betyder att fördelarna med batteribärande släp snarare hänger på andra faktorer, såsom tid till marknadsintroduktion.

Ur kostnadssynpunkt är det intressant att vidare studera hur förhållandet mellan marginalkostnad för batterikapacitet ter sig för det batteribärande släpet. Om kostnaden för kringutrustning är liten relativt batterikostnaden för ett batteribärande släp kan ett modulärt koncept vara aktuellt. Det är något som har potential att minska kapitalbindning och kostnaden per kilowattimme genom att kunna anpassa batterikapaciteten utefter specifika rutter. Dessa kostnadsposter har emellertid denna rapport inte undersökt och således krävs mer studier innan slutsatser kan fastställas.

6.2.4 Implikationer av batteribärande släp jämfört med andra laddningsstrategier

Förutom strategin med batteribärande släp, presenterar simuleringsstudien ytterligare två strategier för elektrifiering av långväga tunga transporter. Dessa två är endast nattladdning samt nattladdning med snabbaddning vid behov. Simuleringsstudiens totalkostnadsanalyser identifierar inga större kvantitativa skillnader mellan de tre strategier som jämförs. Det finns emellertid ett antal kvalitativa skillnader mellan alternativen som har implikationer för det batteribärande släpet där tid till marknadsintroduktion är central. En uppskattning på tid till marknad för olika batterikapaciteter i BET och tillgänglighet av semipublik och publik laddinfrastruktur visualiseras i Figur 6.2.



Figur 6.4: Tidslinje över när olika laddstrategier för BET användas i simuleringsstudien kan realiseras. Baseras på Figur 6.1 och 6.2.

Nattladdning och batteribärande släp har gemensam nämnare i att samtlig laddning sker i depå, och således frigörs lastbilen från att vara beroende av publik laddinfrastruktur. En tydlig skillnad är emellertid att strategin med batteribärande släp möjliggör elektrifiering av längre sträckor i närtid. För åkerier som vill nyttja strategin med enbart nattladdning är det osäkert när BET kan möjliggöra längre transporter. Tidigare i kapitlet har en implikation kopplat till längre räckvidd identifierats, men detta resonemang för fram ytterligare en implikation, att åkerier kan elektrifiera längre sträckor i ett tidigare skede.

Strategin med snabbladdning de dagar som krävs har även gemensamma nämnare med nyttjandet av det batteribärande släpet. Båda strategierna minskar batteriet i dragbilen jämfört med enbart nattladdning och minskar således kapitalbindning. Den tydliga skillnaden finns i hur strategierna hanterar dagar med högre förbrukning. Hur ett publikt laddningssystem kommer se ut, och när det kommer finnas tillgängligt är osäkert. Därav är en implikation av det batteribärande släpet i jämförelse med snabbladdningsalternativet att åkerier kan påbörja elektrifieringsprocessen innan snabbladdning är utvecklad och utbyggd.

6.2.5 Djupare samarbeten och partnerskap

Om batterielektriska lastbilar och batteribärande släp anpassas efter specifika kunder och ruttor kan släp införskaffas med olika stora batteripack. En implikation som diskuterats tidigare är att åkerier då kan minska överkapacitet i elektriska lastbilar och släp, vilket kan göra att en investering mer ekonomiskt gynnsam. En nackdel är att flexibiliteten minskar för fordon som är avsedda för specifika kunder och ruttor. Detta pekar på två implikationer av det batteribärande släpet, partnerskap och långa avtal ökar i attraktion för åkerier och flexibiliteten minskar vid kundanpassningar.

Elektrifiering blir ett större åtagande för båda parter där samtliga intressenter troligen kommer behöva genomföra anpassningar och investeringar. Åkerier investerar i en dyr lastbil och eventuellt släp som kräver avkastning, och sannolikt installerar transportköparen infrastruktur för stödladdning, något som stärker partnerskapet ytterligare. Detta skapar även ett transformationstryck i branschen, när fler åkerier inleder långa avtal med prestigefyllda kunder är det riskfyllt att fortsätta köra transporter med diesel. Detta driver åkerier mot att investera och flytta till högra kvadranten i spelteorin i Figur 6.3. Det har i sin tur potential att artikulera efterfrågan på laddinfrastruktur som leder till att politiken vågar investera. Implikationen att det batteribärande släpet leder till en möjlighet att erbjuda elektriska transporter med räckvidder som inte är möjliga med enbart en BET har konstaterats tidigare. Detta har vidare implikationer i form av att åkerier kan ingå avtal och partnerskap med prestigekunder genom erbjudanden om längre elektrifierade transporter. Det faktum att åkerier i intervjustudien upplever en ökad efterfrågan på hållbara transporter stärker denna implikation ytterligare.

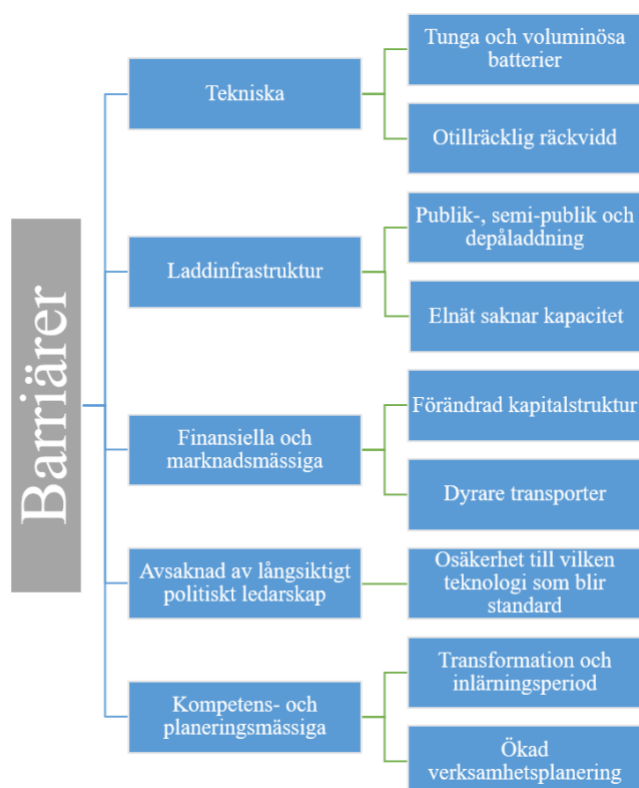
En ytterligare implikation kopplat till partnerskap och det batteribärande släpet är exponeringen som medföljer. Transportköpare som köper elektriska transporter har sannolikt en intention att uttrycka detta i sin marknadskommunikation. Detta ger åkeriet exponering som annars inte varit möjligt för ett bolag i den storleken, något som i sin tur profilerar åkeriet som en transportör inbegripen i elektrifiering. Att åkeriers kompetens inom elektrifiering kommuniceras har en möjlighet att generera nya affärer och partnerskap.

7 Slutsatser

Rapportens syfte var att undersöka vilka implikationer ett batteribärande släp som range extender kan innebära för svenska åkerier samt om och hur åkerier kan använda dessa för att övergå till långväga batterielektriska transporter. För att uppnå föreliggande syfte presenterades två frågeställningar. Den första frågeställningen ämnade kartlägga de barriärer som svenska åkerier upplevde mot att använda batterielektriska lastbilar för långväga transporter:

1. Vilka är de främsta barriärerna för svenska åkerier mot att använda batterielektriska lastbilar för långväga transporter?

Rapporten visade att det finns ett antal barriärer som stävjar åkeriernas övergång till batterielektriska lastbilar för långväga transporter. Från intervjustudien hittades tekniska, finansiella- och marknadsmässiga barriärer samt barriärer kopplat till laddinfrastruktur och avsaknad av långsiktigt politiskt ledarskap. I resultatet från simuleringsstudien identifierades även kompetens- och planeringsmässiga barriärer. Dessa barriärer illustreras i Figur 7.1.

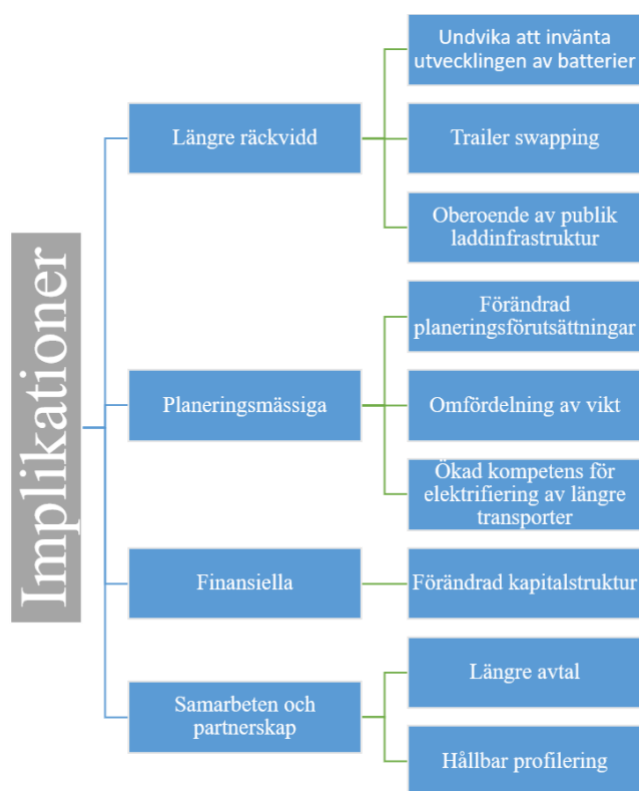


Figur 7.1: Illustration av identifierade barriärer för svenska åkerier mot att använda batterielektriska lastbilar för långväga transporter.

Den andra frågeställningen ämnade i sin tur att beskriva hur en användning av batteribärande släp som range extender kan påverka verksamheten samt eventuellt överbrygga ovanstående barriärer:

2. Vilka implikationer kan följa användning av batteribärande släp som range extender för svenska åkerier?

Rapporten visade ett antal implikationer som kan följa för svenska åkerier vid användning av batteribärande släp som range extender. Dessa inkluderar men är inte begränsade till längre räckvidd, planeringsmässiga och finansiella implikationer samt implikationer kopplade till samarbeten och partnerskap. Implikationerna illustreras i Figur 7.2.



Figur 7.2: Illustration av identifierade implikationer för åkerier vid användning av batteribärande släp.

Slutligen uppmuntras vidare studier på området om tunga batterielektriska lastbilar samt konceptet med batteribärande släp som range extender.

Källförteckning

Ahuja, K. (2020). Battery trailers for electric cars can boost range by hundreds of miles. *The Sunday Times Driving*. Hämtad 2021-04-30, från <https://www.driving.co.uk/news/battery-trailers-electric-cars-can-boost-range-hundreds-miles/>

Andrée, G., Axelsson, S., Alenius J., Larsson F., Dahlsten M. (2020). *Det är bråttom för transportsektorns elektrifiering*. Hämtad 2021-02-05, från <https://www.nyteknik.se/opinion/det-ar-brattom-med-beslut-for-transportsektorns-elektrifiering-7007870>

BATTERY 2030+. (2021). *Inventing the sustainable batteries of the future*. Hämtad 2021-02-14, från <https://battery2030.eu/research/roadmap> Berggren, J-E. (2020). *Batterirevolutionen*. Stockholm: Mondial.

BloombergNEF. (2018). *Electric Buses in Cities. Driving Toward Cleaner Air and Lower CO2*. Hämtad 2021-03-29 från: https://www.transformative-mobility.org/assets/publications/1726_BNEF_C40_Electric_buses_in_cities_FINAL_APPROVED_2.original.pdf

BloombergNEF. (2020). *Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh*. Hämtad 2021-03-01, från <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>

Daimler AG. (2020). Electric vehicles from Daimler Trucks & Buses prove their capabilities in customer use worldwide: more than 7 million kilometers driven. Hämtad 2021-04-06, från <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko.xhtml?oid=47398028&relId=1001&resultInfoTypeId=175#toRelation>

Das, H.S., Rahman, M.M., Li, S., Tan, C.W. (2020). Electric vehicle standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109618> Hämtad 2021-03-29, från <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119308251>

Denscombe, M. (2010). *The Good Research Guide: For small-scale social research projects*. Berkshire: Open University Press.

Du, J., Li, F., Li, J., Wu, X., Song, Z., Zou, Y., Ouyang, M. (2019) *Evaluating the technological evolution of battery electric buses: China as a case*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.084> Hämtad 2021-03-29 från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219304888>

Earl, T., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C. C., Nix, J. (2018). *Analysis of long haul battery electric trucks in EU*. European Federation for Transport and Environment. Hämtad 2021-03-03, från https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/20180725_T%26E_Battery_Electric_Trucks_EU_FINAL.pdf

Energimyndigheten. (2016). *En klimatneutral och hållbar transportsektor*. Hämtad 2021-02-04, från <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/klimat--miljo/transporter/oppet-forum/svensk-naringsliv/folder---en-klimatneutral-och-hallbar-transportsektor.pdf>

Energimyndigheten (2020). *Reduktionsplikt*. Hämtad 2021-03-21, från <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/>

Eon. (u.å). *Ladda längs vägen*. Hämtad 2021-03-13, från <https://www.eon.se/elbil/ladda>

Eriksson, L., Wiedersheim-Paul, F. (2014). *Rapportboken*. Liber.

Europakommissionen. (2020). *Strategic Research Agenda for batteries*. Hämtad 2021-02-14, från https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/batteries_europe_strategic_research_agenda_december_2020_1.pdf

Frick, A. (2021). Volvos nya test: 60 tons ellastbil kör rutt på 150 mil. *Nyteknik*. Hämtad 2021-03-25, från <https://www.nyteknik.se/premium/volvos-nya-test-60-tons-ellastbil-kor-rutt-pa-15-mil-7010260>

Granstrand, O. (2018). *Industrial Innovation Economics and Intellectual Property*. Svenska kulturkompaniet.

Holt, C.A., Roth, A.E. (2004). *Nash-equilibrium: A perspective*. Hämtad 2021-03-16, från <https://www.pnas.org/content/pnas/101/12/3999.full.pdf>

Häll, C. (2002). *Analys av lastbilars utnyttjandegrad*. Hämtad 2021-04-06, från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:19008/FULLTEXT01.pdf>

InCharge. (2020). *Hur mycket kostar det att ladda en elbil?*. Hämtad 2021-03-13, från <https://incharge.vattenfall.se/kunskapshubb/artiklar/hur-mycket-kostar-det-att-ladda-en-elbil/>

InsideEV. (2019). *Tesla Semi Test Hints At Towing Capacity: Video*. Hämtad 2021-02-14, från <https://insideevs.com/news/356428/tesla-semi-tests-hints-towing-capacity/>

InsideEV. (2021). *Tesla Semi Will Have A 500-kWh Battery Pack*. Hämtad 2021-02-14, från <https://insideevs.com/news/487795/tesla-semi-500-kwh-battery-pack/>

International Energy Agency. (2020). *Global EV Outlook 2020*. Hämtad 2021-03-29, från <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>

International Transport Forum. (2019). *Permissible Maximum Dimensions of Lorries in Europe (in metres)*. Hämtad 2021-03-16, från <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/dimensions-2019.pdf>

IPC. (2020). *Cross-border e-Commerce Shopper Survey*. Hämtad 2021-03-11, från <https://www.ipc.be/services/markets-and-regulations/cross-border-shopper-survey>

IVA. (2016). *Framtidens elanvändning*. Hämtad 2021-02-03, från <https://www.iva.se/globalassets/info-trycksaker/vagval-el/vagvael-framtidens-elanvandning-delrapport.pdf>

Jonsson, P., Mattsson, S-A. (2016). *Logistik - Läran om effektiva materialflöden*. 3:e upplagan. Studentlitteratur AB.

Kristofferson, I., Pernestål Brendan, A. (2018). *Scenarios for the development of self-driving vehicles in freight transport*. Hämtad 2021-04-07, från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1269611/FULLTEXT01.pdf>

Liimatainen, H., Van Vliet, O., Aplyn, D. (2019). The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. Elsevier, 236, 804-814. DOI:[10.1016/j.apenergy.2018.12.017](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017) Hämtad från https://www.researchgate.net/publication/330074403_The_potential_of_electric_trucks_-_An_international_commodity-level_analysis

Lindholmen Science Park [Lindholmen Science Park]. (2020-12-23). Räkna med Anders! [Videofil]. Hämtad 2021-03-24, från <https://www.youtube.com/watch?v=bQ0-5Wj741U>

Mareev, I., Becker, J., & Saur, D.U. (2017). Battery Dimensioning and Life Cycle Costs Analysis for a Heavy-Duty Truck Considering the Requirements of Long-Haul Transportation. *Energies* 11(1), 1-23.
doi: <https://doi.org/10.3390/en11010055>

Mofatt, M. (2019). *What Are Network Externalities*. Hämtad 2021-03-23, från <https://online.hbs.edu/blog/post/what-are-network-effects>

Nationalencyklopedin. (u.å). *Batteri*. Hämtad 2021-03-27, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/batteri>

Naturvårdsverket. (2020). *Bara naturlig försurning*. Hämtad 2021-02-06, från <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Bara-naturlig-forsurning>

Naturvårdsverket. (2021). *Transporterna och miljön*. Hämtad 2021-02-06, från <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Transporter-och-trafik/>

Nerhagen, N., Björketin, A., Swärd, J. E., Yahya, M. R. (2015). Externa kostnader för luftföroreningar och buller från trafiken på det statliga vägnätet. VTI Notat 4-2015. Hämtad 2020-02-01, från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1359894/FULLTEXT01.pdf>

Regeringen. (2020a). *Elektrifieringen av Sverige tar nya kliv*. Hämtad 2021-03-24, från https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/09/elektrifieringen-av-sverige-tar-nya-kliv/?TSPD_101_R0=088d4528d9ab20001a9d3c3b958adc8ed9978db8a6dce473e6b39cab109e8112a220221fde84f083bee655e143000a092abf53da5f800f22304f3ab967a23095f1c3342ec5998b8ade5e1b8d650e7e991e33745f8dc5d74e827adc84999f2

Regeringen. (2020b) *Transportsektorn elektrifieras*. Hämtad 2021-03-26, från <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transportsektorn-elektrifieras/>

Regeringen (2020c). *Ökade krav i reduktionsplikten ska minska klimatutsläppen från bensin och diesel*. Hämtad 2021-03-25, från <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/12/okade-krav-i-reduktionsplikten-ska-minska-klimatutslappen-fran-bensin-och-diesel/>

Regeringskansliet. (2021). *Mål för transportpolitiken*. Hämtad 2021-02-04, från <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transporter-och-infrastruktur/mal-for-transporter-och-infrastruktur/>

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations*, v. Fifth Edition: New York, Free Press. Hämtad 2021-03-15, från <https://teddykw2.files.wordpress.com/2012/07/everett-m-rogers-diffusion-of-innovations.pdf>

Rosqvist, L. & Dickinson, J. (2012). *Godstransporterna och de transpolitiska målen*. Trivector Traffic AB, 2012:37.

Scania. (2020a). *Electric trucks – increasingly compelling option*. Hämtad 2021-02-08, från <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2020/electric-trucks-increasingly-compelling-option.html>

Scania. (2020b). *Scania lanserar elektrisk lastbil med 250 km räckvidd*. Hämtad 2020-02-11, från <https://www.scania.com/se/sv/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2020/09/Scanias-ellastbil.html>

SFS 1997:857. Ellag. Stockholm: Infrastrukturdepartementet.

Stobierski, T. (2020). *What Are Network Effects*. Hämtad 2021-03-23, från <https://online.hbs.edu/blog/post/what-are-network-effects>

Svenskt Näringsliv. (2020). *Högre elanvändning 2045, samhällsutvecklingen och klimatomställningen kräver mer el*. Hämtad 2021-02-03, från https://www.svensktnaringsliv.se/bilder_och_dokument/2spdr2_hogre-elanvandning-2045pdf_1138079.html/Hgre+elanvndning+2045.pdf

Sveriges Åkeriföretag. (2018). *Åkerinäringen med verksamhetsområden. Nyckeltal för lönsamhet och tillväxt – 1997-2017*. Hämtad 2021-03-24, från https://www.akeri.se/sites/default/files/2018-10/Nyckeltal_akeri_2018.pdf

Sveriges Åkeriföretag. (2020). *Svart på vitt om åkerinäringen*. Hämtad 2021-03-23, från https://www.akeri.se/sites/akeri.se/files/2020-06/Akerinaringen_Svart_pa_vitt_uppdaterad_0611_uppslag.pdf

Tarradell, M. (2020-06-22). *A guide to truck weight, classification and uses*. Hämtad 2021-05-06, från <https://www.tcsfuel.com/blog/truck-weight-classification/>

Tesla. (u.å). *Semi*. Hämtad 2021-04-09, från <https://www.tesla.com/semi>

Teknikföretagen. (2020). *Vägen mot elektrifiering*. Hämtad 2021-02-24, från <https://www.teknikforetagen.se/globalassets/rapporter/miljo-energi-och-klimat/vagen-mot-elektrifiering.pdf>

Trafa. (2014). *Åkerinäringens kostnadsbild – en jämförelse mellan fyra länder med trafik i Sverige*. Hämtad 2021-03-13, från <https://www.trafa.se/globalassets/pm/underlag/akerinaringens-kostnadsbild.pdf>

Trafikanalys. (2020). *Vägfordonsflottans utveckling till år 2030*. Hämtad 2021-03-30, från https://www.trafa.se/globalassets/pm/2020/pm-2020_7-vagfordonflottans-utveckling-till-ar-2030.pdf? t_id=k1E8FHVC4Q97so-UWwwUA%3d%3d& t_uuid=DrxwTkqhSRajxjK6Jwvvpw& t_q=utbud& t_tags=language%3asv%2csiteid%3af9e4ecf2-4fe2-49ec-bd2f-7b6540d3eb17%2candquerymatch& t_hit.id=Knowit EPi Site Trafa KitModules Document Modules Media DocumentFile/ a4c7fec0-f4de-437c-8494-a34817877996& t_hit.pos=20

Trafikverket. (2019). *Elbussar i Sveriges kollektivtrafik*. Hämtad 2021-03-29, från <https://www.trafikverket.se/contentassets/2cf6ea91cdba4601bc36afa31b549c5d/rapport--elbussar-i-sveriges-kollektivtrafik.pdf>

Trafikverket. (2020a). *Bärighetsklasser (BK) på vägar och broar*. Hämtad 2021-03-24, från <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/bk--barighetsklasser-pa-vagar-och-broar/>

Trafikverket. (2020b). *Regeringsuppdrag, implementering av bärighetsklass 4*. Hämtad 2021-03-24, från <https://www.trafikverket.se/contentassets/ba17ede140da4ccaad607bd4f188f136/slutrapport-implementering-av-bk4.pdf>

Trafikverket. (2021). *Behov av laddinfrastruktur för snabbbladdning av tunga fordon längs större vägar*. Hämtad 2021-02-03, från <http://www.diva-portal.org/smFash/get/diva2:1524340/FULLTEXT01.pdf>

Transportstyrelsen. (2013). *Lastbil*. Hämtad 2021-03-24, från <https://transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/Fordonsregler/Lastbil/>

Transportstyrelsen. (2020a). *Bruttovikter för fordon*. Hämtad 2021-03-25, från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Bruttovikter-for-fordon/>

Transportstyrelsen. (2020b). *Modulsystem*. Hämtad 2021-03-24, från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Modulsystem/>

Transportstyrelsen. (2020c). *Regler om kör- och vilotider*. Hämtad 2020-02-11, från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Kor--och-vilotider/regler-om-kor--och-vilotider/>

TripleF. (2021). *Lastbilar i trafik efter drivmedel*. Hämtad 2021-03-30, från <https://triplef.lindholmen.se/node/80970>

Upphandlingsmyndigheten. (2021). *Hållbar upphandling*. Hämtad 2021-04-28, från <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/>

Volvo Group. (2020). *Volvo Trucks launches a complete range of electric trucks starting in Europe in 2021*. Hämtad 2021-04-07, från <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2020/nov/news-3820395.html#:~:text=Volvo%20Trucks%20started%20manufacturing%20the,start%20on%20December%203%2C%202020>

Warp Institute. (2020-07-06). *Nästa generation batteri närmar sig – lagrar tre gånger mer än dagens*. Hämtad 2021-03-27, från <https://greentech.warpinstitute.se/nasta-generation-batteri-narmar-sig-lagrar-tre-ganger-mer-an-dagens/>

Bilaga 1. Intervjumall till intervjustudien

Verksamhet

1. Hur kategoriserar ni era transporter?
2. Har ni någon definition av långväga transporter?
3. Hur ser elektrifieringen av er fordonsflotta ut idag och vad är planen framöver?
4. Hur viktig är flexibiliteten för lastbilarna i er verksamhet?
 - a. Går det avvara vissa bilar för vissa rutter/avstånd?
 - b. Hur stor andel skulle du säga har
5. Hur ser arbetet ut på terminalerna?
 - a. Hur länge står lastbilarna vid terminal?
 - b. Hur länge står släpen vid lastning/lossning?
 - c. Byter föraren släp eller använder föraren samma släp?
6. Finns det möjlighet att ladda elektriska fordon i era depåer idag och hur ser era planer ut på att bygga laddinfrastruktur i era depåer i framtiden?
7. Hur känslig är er operativa verksamhet för störningar?
8. Hur mycket varierar körsträckorna för era individuella lastbilar?
9. Går det göra en uppskattning på hur långt era lastbilar i genomsnitt går per dag?

Marknad

10. Hur ser efterfrågan ut för hållbara transporter från transportköpare?
11. Hur villiga är transportköpare att betala för att göra transporter grönare?
12. Hur tror ni efterfrågan för hållbara transporter från transportköpare kommer förändras i framtiden?

Politik

13. Vilka typer av stöd behövs för att du/ni ska ställa om till mer hållbara/elektriska transporter?

Teknik

14. Hur ofta är era transporter begränsade av tekniska aspekter?
15. Vilka är de största osäkerheterna ni ser kring batterielektriska fordon för långväga transporter?

Bilaga 2. Simuleringsberäkningar

Simuleringarna i Avsnitt 5 antogs vara normalfördelade med kända medelvärden och standardavvikelser.

Batteristorlek [kWh]

= max(simuleringsvärden) avrundat uppåt till närmaste 50 – tal [kWh]

*Total batterikostnad [kr] = batteripris [kr/kWh] * total batteristorlek [kWh]*

Total energiförbrukning [kWh] = $\sum_i^N x_i$, där

x_i = observerad energiförbrukning dag i och

N = Antal simulerade dagar.

Energiförbrukning över batteristorlek [kWh] = $\sum_i^N \max(0, x_i - \text{batteristorlek})$, där

x_i = observerad energiförbrukning dag i och

N = Antal simulerade dagar.

Total nattladdkostnad [kr]

= (Total energianvändning [kWh] – Energiförbrukning över batteristorlek [kWh])

** Nattladdartariff [kr/kWh]*

Total snabbladdkostnad [kr]

= Energiförbrukning över batteristorlek [kWh]

** Snabbladdartariff [kr/kWh]*

Total släpladdkostnad [kr]

= Energiförbrukning över batteristorlek [kWh]

** Nattladdartariff [kr/kWh]*

Indirekt kostnad [kr]

= (uppskattad kringtid för snabbaddning [h]

** antal dagar med snabbaddning [%]*

+ batteristorlek[kWh]/snabbaddarkapacitet[kWh])

** personal kostnad [kr/h]*

*Totalkostnad släp = (Fast kostnad släp + batterikostnad släp) * Andel dagar med släp*



CHALMERS