

Transportörer och transportköparens väg mot fullständig elektrifiering av tung transporter

– En fallstudie kring implementering och uppskalning

*Carriers' and transport buyers' path towards complete
electrification of heavy transports'*

– A case study about implementation and scaling up

Julia Arvidsson
Linnéa Jaktfalk

Handledare: Henrik Gillström
Examinator: Maria Björklund



Sammanfattning

Transporter står idag för en stor andel av Sveriges koldioxidutsläpp. Det gör att logistikfrågor blir extra viktiga då vidareutveckling och omformning av logistiksystem kan göra stor skillnad. Elektrifiering av fordon är en framtida lösning på problemet. Däremot anses det fortfarande vara ett förhållandevis nytt och osäkert område och det finns idag få exempel på implementering av elektrifierade fordon. Transportören Renall och transportköparen Returpack är två framstående företag med starkt hållbarhetsfokus som agerar fallföretag för studien. De har högt uppsatta mål, däribland elektrifiering av en stor andel av sina fordonsflottor till 2030. Studiens syfte är därför formulerat som följande:

Syftet är att utreda hur transportörer och transportköpare kan arbeta mot fullständig elektrifiering av tunga transporter.

Studien är uppdelad i tre primära delar. Den första delen utvecklar en metodik för hur elektrifierade fordon ska implementeras i verksamheter för att sedan kunna skalas upp. Denna metodik har resulterat i tre primära delar. Den första delen är *utformning av ett elektrifierat logistiksystem* där större strukturförändringar i logistiksystemet måste göras med syfte att öka effektivitet, nyttjandegrad och förutsägbarhet. Den andra delen är *utformning av fordonsflotta* där beslut om lämpliga batterikapaciteter för varje enskilt fordon tas. Den tredje delen *utformning av laddstrategi* beslutar om lämplig laddstrategi utifrån fordons- och uppdragskaraktäristik.

Den utformade metodiken appliceras sedan på fallföretagens presenterade empiri för att resultera i rekommendationer för hur de bör utforma sina *elektrifierade logistiksystem, fordonsflottor* samt *laddstrategier*. Efter analys av lösningar som ämnar anpassa logistiksystemet till elektrifiering presenteras rekommendationer för fallföretagen utifrån deras specifika situationer. Det kan dock konstateras att en stark maktposition, ett välutvecklat systemstöd samt kompetens inom elektrifiering underlättar arbetet mot ett elektrifierat logistiksystem. Vid utformning av fordonsflottan presenteras det samlade resultatet av ekonomiska analyser samt bedömningar av genomförbarheten för respektive fordon. Resultatet påvisar att det för cirka hälften av fordonen är ekonomiskt fördelaktigt med ett mindre batteri men att detta oftast begränsas av brist på laddinfrastruktur och behov av flexibilitet vilket innebär behov av överdimensionering. Det samlade resultatet innebär att cirka 20% av fordonsflottan rekommenderas mindre batterier. Vid utveckling av laddstrategier är rekommendationerna liknande för fallföretagen vilket beror på att en laddstrategi är beroende av enskilda fordons karaktäristik snarare än en aktörs roll. Fallföretagen rekommenderas att utveckla två primära laddstrategier: en *return to base* strategi för laddning mellan skift samt en *on route* strategi för laddning under pågående rutt.

Därtill utvecklas även en kostnadsmodell för att kunna genomföra en kostnadsanalys av hur kostnader förändras vid byte från nuvarande bränsle till elektrifierad drivlina. Den visar att sänkning eller höjning av kostnader vid byte av drivlina varierar mellan olika fordonstyper och

områden, men att lönsamhet kan uppnås i många fall. Däremot krävs ibland justeringar och förändringar av logistiksystemet. Främst ses att långa avtalsperioder och hög nyttjandegrad av fordonen är att föredra. Likaså ger minskade inköspriser stort utslag på resultatet.

Abstract

Transport related activities currently account for a significant portion of Sweden's carbon dioxide emissions. This makes logistics issues particularly important, as further development and transformation of logistics systems can make a big difference. Electrification of heavy trucks is a future solution to the problem. However, it is still considered a relatively new and uncertain area, and there are currently few examples of the implementation of electrified heavy trucks. The carrier Renall and the transport buyer Returpack are two prominent companies with a strong sustainability focus, acting as case companies for the study. They have currently set ambitious goals, including electrifying a large portion of their heavy truck fleets by the year 2030. Therefore, the purpose of the study is formulated as follows:

The purpose is to investigate how carriers' and transport buyers' can work towards complete electrification of heavy transports.

The study is divided into three primary parts. The first part develops a methodology for implementing electrified heavy trucks in operations, with the goal of scalability. This methodology has resulted in three sub-parts. The first sub-part is the design of an electrified logistics system, where significant structural changes in the logistics system are necessary to increase efficiency, utilization, and predictability. The second sub-part involves designing the heavy truck fleet, including decisions on appropriate battery capacities for each individual heavy truck. The third sub-part focuses on designing a charging strategy based on truck and mission characteristics.

The formulated methodology is then applied to the empirical data presented by the case companies, resulting in recommendations on how they should design their electrified logistics systems, heavy truck fleets, and charging strategies. Solutions aimed at adapting the logistics system to electrification are analyzed, which result in recommendations for the case companies based on their specific situations. However, it can be noted that a strong market position, well-developed system support, and knowledge in electrification can ease the transition to an electrified logistics system.

In the design of the heavy truck fleet, the combined results of economic analyses and feasibility assessments for each vehicle are presented. The results indicate that for approximately half of the vehicles, it is economically advantageous to have a smaller battery. However, this is often limited by a lack of charging infrastructure and the need for flexibility, which necessitate overdimensioning. The combined result is that approximately 20% of the vehicle fleet is recommended to have smaller batteries.

In the development of charging strategies, the recommendations are similar for the case companies, as a charging strategy depends on the characteristics of individual vehicles rather than the role of the operator. The case companies are recommended to develop two primary

charging strategies: a *return to base* strategy for charging between shifts and an *on route* strategy for charging during the ongoing route.

Lastly, a cost model is developed to conduct a cost analysis of how expenses change when transitioning from heavy trucks fueled by HVO or biogas to electrified heavy trucks. It shows that cost reduction or cost increase upon fuel conversion varies among different truck types and regions, but profitability can be achieved in many cases. However, adjustments and changes to the logistics system are sometimes necessary. Long contract periods and high vehicle utilization are particularly favorable. Similarly, reduced purchase prices have a significant impact on the outcome.

Förord

Framför dig finns resultatet av vårt examensarbete och den avslutande delen av fem års studier på Linköpings Universitet. Vi är Linnéa Jaktfalk och Julia Arvidsson, blivande civilingenjörer inom Industriell Ekonomi med inriktning mot logistik och supply chain management.

Detta projekt hade inte varit möjligt utan alla engagerade människor vi mött under arbetets gång. Först och främst vill vi tacka Per Lindahl på Logistikia för att du initierade projektet och introducerade oss till lastbils elektrifieringens värld. Ditt starka driv och intresse har smittat av sig och bidragit till ett ökat intresse hos oss. Fortsätt på samma väg så kommer Östergötland att bli Sveriges mest hållbara och attraktiva logistikregion!

Därtill vill vi även tacka de framstående fallföretagen Renall och Returpack som ställt upp i detta annorlunda projekt. Vi har uppskattat ert driv, er öppenhet och starka hållbarhetsfokus. Ni visar att allt går så länge det finns en tillräckligt stark vilja, något vi tar med oss från detta projekt. Tack till alla medarbetare som ställt upp och ett extra tack till Alexandra Johnson och Veronica Gerhardsson som gjort det lilla extra. Vi önskar er fortsatt lycka till i er elektrifieringsresa och ser fram emot att följa resultatet!

Sist men inte minst vill vi tacka alla kollegor på Linköpings Universitet som vi stött på under utbildningen. Ni har givit oss en bred kunskapsbas och den samlade kunskapen att genomföra projektet. Ett extra tack till projektets handledare Henrik Gillström som bjudit upp till intressanta och utvecklande diskussioner och givit oss många bra förbättringsförslag. Ett sista tack till våra opponenter Emil och Emile för era frågor och ert bidrag till rapportens utformning.

Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	3
1.3 Frågeställningar.....	3
1.4 Avgränsningar	5
2 Situationsbeskrivning.....	6
2.1 Renall	6
2.1.1 Hållbarhetsmål	6
2.1.3 Fordon	7
2.2 Returpack	9
2.2.1 Hållbarhetsmål	9
2.2.2 Flöden	9
2.2.3 Leverantörer	13
2.2.4 Fordon	14
2.3 Studerat system	15
3 Referensram	18
3.1 Drivlinor hos tunga fordon.....	19
3.1.1 Lastbilar med förbränningsmotorer	19
3.1.2 Elektrifierade lastbilar.....	20
3.1.3 Batterier till elektrifierade lastbilar	20
3.1.4 Tunga arbetsfordon	21
3.2 Laddning	22
3.2.1 Det svenska elnätet	22
3.2.2 Laddstandarder.....	23
3.2.3 Laddinfrastruktur och framtida behov	24
3.2.4 Laddstrategier	25
3.3 Utformning av ett elektrifierat logistiksystem	29
3.3.1 Operativ planering	31
3.3.2 Eco-driving	33
3.3.3 Transportrelaterade aktiviteter	33

3.3.4 Långsiktig planering	33
3.3.5 Roller i logistiksystemet	34
3.3.6 Datadelning	35
3.4 Kostnadsanalys	36
3.4.1 TCO.....	36
3.4.2 Tidigare TCO-studier av elektrifierade lastbilar.....	39
3.4.3 Engångskostnader	41
3.4.4 Återkommande kostnader	43
3.4.5 Bidrag.....	45
3.4.6 Känslighetsanalys	45
3.5 Sammanfattning	46
3.5.1 Förändrade förutsättningar som studeras vidare	46
3.5.2 Lösningar som studeras vidare.....	47
4 Uppgiftsprecisering.....	51
4.1 Huvudfråga 1	51
4.1.1 Underfråga 1.1	52
4.1.2 Underfråga 1.2	52
4.1.3 Underfråga 1.3	53
4.2 Huvudfråga 2	53
4.2.1 Underfråga 2.1	54
4.2.2 Underfråga 2.2	55
4.2.3 Underfråga 2.3	55
4.3 Huvudfråga 3	55
4.3.1 Underfråga 3.1	56
4.3.2 Underfråga 3.2	57
4.3.3 Underfråga 3.3	57
4.3.4 Underfråga 3.4	57
4.4 Huvudfråga 4	58
4.4.1 Underfråga 4.1	59
4.4.2 Underfråga 4.2	59
4.5 Sammanställning.....	60

5 Metod	61
5.1 Den inledande fasen	62
5.1.1 Inledande informationsinsamling och utformning av studien	62
5.1.2 Litteraturinsamling.....	63
5.1.3 Källvärdering och källkritik.....	65
5.2 Den empiriska och analyserande fasen	66
5.2.1 Insamling och analys av kvalitativ information.....	66
5.2.2 Metod för respektive underfråga.....	68
5.3 Den utvärderande fasen.....	81
6 Utveckling av metodik för uppskalning av elektrifiering.....	82
6.1 Hur kan ett elektrifierat logistiksystem utformas?.....	82
6.2 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas?.....	85
6.2.1 Jämna ut rutter.....	88
6.2.2 Ekonomisk jämförelse	88
6.2.3 Justering för genomförbarhet.....	90
6.3 Hur kan en laddstrategi utformas?	92
6.3.1 Vad.....	93
6.3.2 När.....	94
6.3.3 Hur	94
6.3.4 Var.....	95
6.3.5 Schedule- och trigger based	96
6.4 Att tillämpa metodiken	96
7 Nuläget hos transportör och transportköpare och vad som skiljer dem åt.....	98
7.1 Hur ser dagens logistiksystem ut hos Renall?.....	98
7.1.1 Daglig planering.....	98
7.1.2 Kundrelationer	100
7.2 Hur ser dagens logistiksystem ut hos Returpack?.....	101
7.2.1 Daglig planering.....	101
7.2.2 Kundrelationer	102
7.3 Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Renall?	103
7.3.1 Fordonens karakteristik.....	104

7.4 Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Returpack?	106
7.4.1 Fordonens karakteristik.....	106
7.5 Vilka likheter och skillnader kan identifieras hos Renall och Returpack?	110
7.5.1 Ett fordons uppdrag per dag.....	111
7.5.2 Geografisk utbredning	111
7.5.3 Andelen förplanerade rutter och chaufförernas flexibilitet.....	111
7.5.4 Andelen akuta uppdrag	111
7.5.5 Återkomst till depå under rutt	112
8 Applicering av metodikmodellen hos fallföretagen samt likheter och skillnader i genomförandet	114
8.1 Hur kan Renall utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?	114
8.2 Hur kan Returpack utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?	117
8.3 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Renall?.....	121
8.4 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Returpack?.....	124
8.5 Hur kan Renall respektive Returpack utforma sin laddstrategi?	126
8.5.1 Return to base	126
8.5.2 On route	129
8.6 Vilka likheter och skillnader i genomförandet kan identifieras hos Renall och Returpack?	133
8.6.1 Utformning av ett elektrifierat logistiksystem	133
8.6.2 Utformning av en elektrifierad fordonsflotta	134
8.6.3 Utformning av laddstrategier	136
9 Hur kostnadsfördelningen förändras vid elektrifiering och hur det skiljer sig mellan aktörer	138
9.1 Empiri	138
9.1.1 Indata på kostnadsposter	138
9.2 Analys	140
9.2.1 Hur förändras kostnaderna för Renall vid elektrifiering av fordonsflottan?.....	141
9.2.2 Hur förändras kostnaderna för Returpack vid elektrifiering av fordonsflottan?.....	143
9.2.3 Känslighetsanalys av resultaten i underfråga 4.1a och 4.1b	145
9.3 Vilka likheter och skillnader i kostnadsfördelning kan identifieras hos Renall och Returpack?	150

10 Slutsats och diskussion	152
10.1 Slutsats	152
10.2 Resultatdiskussion.....	155
10.3 Resultatkritik.....	157
10.4 Vidare studier.....	158
Referenser	160
Bilagor.....	169
Bilaga A	169
Bilaga B	173
Bilaga C	174

Tabellförteckning

Tabell 1: Energiinnehåll för HVO och biogas samt beräkningsmetod för energiförbrukning.	20
Tabell 2: Sammanställning av laddstandarden Typ 1, 2 & 3.....	23
Tabell 3: Kostnadsposter för engångskostnader vid elektrifierade fordon.	43
Tabell 4: Parametrar för engångskostnader vid elektrifierade fordon.	43
Tabell 5: Kostnadsposter för återkommande kostnader vid elektrifierade fordon.	44
Tabell 6: Parametrar för återkommande kostnader vid elektrifierade fordon.....	45
Tabell 7: Sammanställning av de förändrade förutsättningar som presenterats i referensramen.	46
Tabell 8: Sammanställning av de lösningar som presenterats i referensramen.	48
Tabell 9: Identifierade lösningar som studeras vidare.	50
Tabell 10: Sammanställning av studiens huvudfrågor och underfrågor.	60
Tabell 11: Urval av söktermer som användes för att söka i databaser efter lämpliga akademiska artiklar.	64
Tabell 12: De fyra forskningsetiska principerna. Källa: Blomqvist och Hallin (2015).	67
Tabell 13: Intervjuobjekt för genomförda intervjuer hos Renall för informationsinsamling till underfråga 2.1 och 2.2.	69
Tabell 14: Olika beräkningsmetoder användes för olika fordonstyper.....	70
Tabell 15: Genomförda intervjuer hos Returpack för informationsinsamling till underfråga 2.1 och 2.2.....	72
Tabell 16: Använda teman vid identifiering av likheter och skillnader.....	73
Tabell 17: Använda teman vid identifiering av likheter och skillnader hos Renall och Returpack.	76
Tabell 18: Genomförda intervjuer för identifiering av kostnadsposter.	77
Tabell 19: Sammanställning av kostnadsposter där antaganden behövts göras.	80
Tabell 20: Sammanställning av kostnadsposter som studerades i känslighetsanalysen.	81
Tabell 21: Sammanställning av de lösningar som presenterats i referensramen.	83
Tabell 22: Identifierade lösningar för ökad effektivitet.	84
Tabell 23: Identifierade lösningar för ökad nyttjandegrad.	84
Tabell 24: Identifierade lösningar för ökad förutsägbarhet.	85
Tabell 25: Redovisning av de sex scenarier som jämförts.....	89
Tabell 26: Returpacks nuvarande avtal med transportleverantörer i respektive område och avtalens utgångsdatum.	110
Tabell 27: Jämförelse mellan Renall och Returpack för några kategorier.....	112
Tabell 28: Identifierade kopplingar mellan karaktistiken utifrån tre teman: Andelen förplanerade rutter, chaufförernas flexibilitet och andelen akuta uppdrag.	112
Tabell 29: Identifierade kopplingar mellan karaktistiken utifrån tre teman: Antal uppdrag per dag och fordon, geografisk utbredning (här kallad körd strecka mellan uppdragen) samt tid per uppdrag.	113
Tabell 30: Utvalda fordonstyper och dess karaktistik.	121

Tabell 31: Utvalda fordonstyper och dess karakteristik.	124
Tabell 32: Rekommenderat genomförande vid strategin return to base och de effekter som kan uppnås.	127
Tabell 33: Rekommenderat genomförande vid strategin on route och de effekter som kan uppnås.	130
Tabell 34: Prioriterade rekommenderade lösningar för Renall och Returpack där arbetet bör påbörjas.	133
Tabell 35: Begränsande faktorer samt tekniker för utjämning för Renall respektive Returpack.	135
Tabell 36: Sammanställning av laddstrategier som är gemensamma för båda fallföretagen.	137
Tabell 37: Värden som använts som ingående parametrar för exempelfordonet i TCO-analysen hos Renall.....	139
Tabell 38: Värden som använts som ingående parametrar för exempelfordonet i TCO-analysen hos Returpack.....	140
Tabell 39: Rekommenderade lösningar för Renall och Returpack där arbetet bör påbörjas.	153

Figurförteckning

Figur 1: Renalls olika verksamhetsområden.....	6
Figur 2: Renalls tidsplan för utrustning av elektrifierade lastbilar.....	7
Figur 3: Bilder på några av Renalls olika fordonstyper.....	8
Figur 4: Returpacks olika ingående logistikflöden samt exempel av insamlingskällor markerade i gult.	10
Figur 5: Lösavviktsflödet och Pantamera Express-flödet som samlas in via automater och transporteras med komprimatorbilar.....	11
Figur 6: Karta med mellanlager markerade.	12
Figur 7: Returpacks ingående flöde med depåer och mellanlager och dess fordonstyper samt konsolidering av transporter till anläggningen i Norrköping.....	13
Figur 8: Returpacks ersättningsmodell.	14
Figur 9: Transportören Renall och transportköparen Returpack och deras koppling.	15
Figur 10: Urval av områden och fordonstyper hos Renall som vidare kommer att studeras markerade i grönt.	16
Figur 11: Utvalda flöden som körs med komprimatorbilar är markerade i rött.....	17
Figur 12: Referensramens olika områden och dess underområden.	19
Figur 13: Energikartläggning av en verksamhet kan visa när det finns ledig outnyttjad kapacitet.	23
Figur 14: Visualisering av laddstrategierna "return to base" samt "on route".	26
Figur 15: Visualisering baserad på Abrahamsson och Aronsson (1999) över uppnådd operationell effektivitet utifrån olika alternativ på förändringar.	30
Figur 16: Metodik för TCO. Källa: Abrahamsson och Aronsson (1999).	37
Figur 17: Metodik för TCO. Källa: Ellram (1993).	38
Figur 18: Kostnadsstruktur för dieseldrivna och elektrifierade tunga lastbilar för körning dagtid respektive 24 timmar per dygn. Källa: Moll et al. (2020).	40
Figur 19: Illustration av van Velzen et al. (2019) kategorisering av kostnadsposter.	41
Figur 20: Studiens fyra huvudfrågor och deras ordningsföljd.	51
Figur 21: Den första huvudfrågans underfrågor.	52
Figur 22: Den andra huvudfrågans underfrågor.....	54
Figur 23: Den tredje huvudfrågans underfrågor.	56
Figur 24: Den fjärde huvudfrågans underfrågor.	59
Figur 25: De tre faserna av projektet.	61
Figur 26: Metod för TCO hos Renall och Returpack.	76
Figur 27: Visualisering av kategorisering av de kostnadsposter och parametrar som använts i kostnadsanalysen.....	78
Figur 28: Första delen i metodiken som behandlar utformning av logistiksystemet.....	82
Figur 29: Andra delen av metodiken som behandlar utformning av fordonsflottan.....	86

Figur 30: Beslutsmetodik för val av batterikapacitet för inköp av elektrifierat fordon. Utformad av författarna.	87
Figur 31: Antal år tills break even uppnås för scenario 1 baserat på olika ingående värden för parametrarna ”antal mellanladdningar / år” samt ”andel laddning per tillfälle”.	90
Figur 32: Tredje delen av metodiken som behandlar utformning av laddstrategi.	92
Figur 33: Modell för att bestämma laddstrategi.	93
Figur 34: Modell för uppskalning av elektrifierade transporter. Framtagen av författarna med syfte att underlätta uppskalning av elektrifierade fordon för fordonsägande och planerande aktör.	97
Figur 35: Sammanställning av andelen fordon med fasta ruttor för Renall.	98
Figur 36: Chaufförernas upplevda flexibilitet, Renall.	99
Figur 37: Plats för chaufförernas lunch, Renall.	99
Figur 38: Förekomsten av akuta uppdrag per fordon för Renall.	101
Figur 39: Förekomst av mellantömning, Returpack.	102
Figur 40: Bränsletyper för Renalls studerade fordonsflotta årsskiftet 2023/2024.	103
Figur 41: Sammanställning av antal uppdrag genomförda av Renall fordon per dag.	104
Figur 42: Maximal geografisk utbredning för Renalls fordon.	105
Figur 43: Energiförbrukningen för en lastväxlare under mars-maj 2023.	105
Figur 44: Bränslefördelning för Returpacks fordonsflotta årsskiftet 2023/2024.	106
Figur 45: Sammanställning av antal uppdrag genomförda per dag och fordon för Returpack... ..	107
Figur 46: Geografisk utbredning för Returpacks fordon.	107
Figur 47: Energiförbrukning för respektive rutt under sommar och vinter för ett av Returpacks fordon.	108
Figur 48: Energiförbrukningen för område Östergötland under en sommarperiod på 14 dagar.	109
Figur 49: Lösningarna presenterade utifrån förväntad effekt och genomförbarhet för Renall... ..	117
Figur 50: Lösningar för ett elektrifierat logistiksystem presenterat utifrån förväntad effekt och genomförbarhet för Returpack.	121
Figur 51: Fördelning av batterikapacitet hos Renall.	123
Figur 52: Fördelning av batterikapacitet hos Returpack.	126
Figur 53: Sammanställning över hur många fordon hos Renall respektive Returpack som i dagsläget är i behov av en on route strategi.	129
Figur 54: Fördelning av batterikapacitet hos Renall respektive Returpack.	136
Figur 55: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall.	142
Figur 56: Kostnadsjämförelser mellan två eldrivna, en biogasdriven och en dieseldriven lastbil hos Renall.	143
Figur 57: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack.	144
Figur 58: Kostnadsjämförelse mellan två eldrivna, en biogasdriven och en dieseldriven lastbil hos Returpack.	145

Figur 59: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall om inköpspriset minskar med 20%.....	146
Figur 60: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack om inköpspriset minskar med 20%.....	146
Figur 61: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall om avtalsperioden minskar till 5 år.....	147
Figur 62: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack om avtalsperioden minskar till 5 år.....	148
Figur 63: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall om all mellanladdning sker på depå.	149
Figur 64: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack om all mellanladdning sker på depå.	149
Figur 65: Jämförelse mellan Renalls kostnadsstruktur och Returpacks kostnadsmodell för ett exempelfordon.	150
Figur 66: Modell för uppskalning av elektrifiering.	152
Figur 67: Fördelning av batterikapacitet hos Renall.....	153
Figur 68: Fördelning av batterikapacitet hos Returpack.....	154
Figur 69: Tidsplan för implementering av elektrifierade fordon hos Renall.	155
Figur 70: Förslag på vidareutveckling av metodiken som togs fram i huvudfråga 1.	159

Begreppslista

Tunga elfordon: Samlingsbegrepp för tunga fordon exempelvis lastbil eller buss som kan drivas med en elmotor. Det kan exempelvis vara tunga laddfordon och tunga bränslecellsfordon.

Tunga laddfordon: Ett begrepp som innefattar tunga fordon som kan laddas från elnätet, som exempelvis tunga elbilar. I denna rapport benämns tunga fordon med en totalvikt på 16 ton och uppåt.

Laddinfrastruktur: Ett samlingsbegrepp för utbredning av laddstationer för laddning av laddfordon.

Laddstation: Geografisk plats med möjlighet till laddning. Består av en eller flera laddningspunkter där ett eller flera fordon kan laddas.

Laddningspunkt: En plats på en station där ett fordon i taget kan laddas.

Icke-publik laddning: Laddning vid en laddstation där tillgängligheten är begränsad och inte är öppen för vem som helst. Laddstationen kan vara placerad vid en bostad, vid en depå eller vid en arbetsplats. Laddning vid depå kallas ibland för depåladdning.

Semi-publik laddning: Laddning vid en laddstation som är öppen för en begränsad målgrupp. Företag kan exempelvis erbjuda transportleverantörer laddning vid lastning och lossning.

Publik laddning: Laddning vid en laddstation som står placerad där vem som helst kan ladda bilen, till exempel utmed landsvägar, i parkeringshus, vid köpcentrum, vid infartsparkeringar eller resecentrum.

Laddeffekt: Den mängd energi per tidsenhet som överförs från elnätet vid laddning av ett laddfordon. Enheten för laddeffekt är kilowatt och förkortas ofta kW.

Laddoperatör: Ett tjänsteföretag som erbjuder drift, underhåll och andra tjänster för laddning. De kan även mäta elförbrukningen och har betallösningar för laddningen.

Långsamladdning: Laddning med låg effekt som medför en längre laddningstid. Denna typ av laddning kallas för Typ 1 eller Typ 2 och återfinns ofta hemma, på depå eller på arbetsplatser.

Snabbladdning: Laddning med hög effekt som gör att tiden det tar att ladda förkortas. Denna typ av laddning kallas för Typ 3 och återfinns ofta på publika eller semi-publika laddstationer.

Mellanladdning: Laddning som sker utmed en rutt mellan ordinarie laddpunkter. Metoden används som stöd för att se till att fordonet klarar av hela rutten.

Kraftuttag: Energi som förbrukas vid användande av påbyggnad.

TCO: Förkortning för ”Total Cost of Ownership” och är en kostnadsanalysmetod. En TCO utreder de totala kostnader som uppstår vid ägandeskap av en produkt.

1 Inledning

I följande kapitel introduceras studien och dess inriktning. Först presenteras en bakgrundsbeskrivning där studiens huvudsakliga ämne elektrifierade tunga transporter samt studiens två fallföretag introduceras. Därefter presenteras syfte, frågeställningar och avgränsningar som beskriver hur studien utformats.

1.1 Bakgrund

Mänsklig aktivitet som bidrar till utsläpp av växthusgaser accelererar den globala uppvärmningen (IPPC, 2023). Som följd av detta sattes år 2015 i Parisavtalet ett klimatmål vars syfte är att begränsa den globala uppvärmningen till 2,0, men helst 1,5 grader Celsius (United Nations Framework Convention on Climate Change, u.å.). I takt med att jordens medeltemperatur ökar smälter polarisarna, havsnivåerna stiger och risken för naturkatastrofer ökar. Begränsas inte den globala uppvärmningen finns en risk att så kallade tipping points nås, vilket innebär att förändringen som medförs blir oåterkallelig (Baird & Cann, 2012).

Inrikes transporter står för cirka en tredjedel av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket, 2023). Det innebär att en reduktion av utsläppen från transporter är en viktig del i att nå klimatmålen (Naturvårdsverket, 2019) och ett stort ansvar ligger på transportörer och transportköpare. Den svenska regeringen har infört ett klimatpolitiskt ramverk där ett av målen är att utsläpp från inrikes transporter (luftfart exkluderat) ska minska med 70% från 2010 till 2030 (Regeringskansliet, 2017). Ett sätt att reducera utsläppen är genom elektrifiering till följd av dess miljövänliga teknik, vilket bidrar till utfasning av fossila bränslen (Hammes, 2020; Gillström, 2023). Elektrifiering av tunga transporter är därmed en kritisk komponent i övergången mot en mer hållbar och miljövänlig transportsektor (Naturvårdsverket, 2019). Utöver de miljömässiga fördelarna med elektrifiering av transporter finns även ekonomisk vinning, då elektrifierade fordon har en lägre drift- och underhållskostnad (Gillström, 2023).

Trots de miljömässiga fördelarna fanns det i januari 2024 enbart 531 eldrivna tunga lastbilar i Sverige (Power Circle, u.å.). Att uppnå en ökad grad av en viss teknik och således skala upp denna beror av hur mogen marknaden och det berörda företaget är (Yang, et al., 2011). Idag finns få exempel på företag som genomfört uppskalning av elektrifierade tunga fordon och marknaden kan således inte anses vara tillräckligt mogen. Tack vare företag i framkant som bidrar till fler elektrifierade tunga fordon på vägarna kommer elektrifierade fordon bli en alltmer etablerad produkt och marknaden mer mogen. Det är något som fordonstillverkarna bekräftar då de år 2030 förväntar sig att 50% av de lastbilar som säljs år 2030 drivs på el (Volvo Trucks, 2023). Därför är det intressant att studera hur uppskalning ska kunna genomföras.

Idag finns ett etablerat system av dieseldrivna lastbilar och övergången till elektrifierade lastbilar medför att flertalet förutsättningar förändras och att nya förutsättningar behöver hanteras (Nordin

& Andersson, 2022). Elektrifierade fordon medför en förändrad kostnadsstruktur (Al-Hanahi, et al., 2021). Nordin och Andersson (2022) menar att det för omställningen krävs stora investeringar av transportörer vid inköp av elektrifierade fordon vilket även Samet, et al. (2021) samt Schiffer, et al. (2021) bekräftar i sina studier. Dessutom krävs stora investeringar i såväl publik som privat laddning för en fullskalig elektrifiering av godstransporter (Lindgren, et al., 2021; Gillström, 2023). Det påverkar företags förmåga att uppnå ekonomisk hållbarhet i form av lönsamhet (Holmström & Lindholm, 2011) och transportköpare kan behöva betala mer för de utförda tjänsterna (Uhrdin, et al., 2023). Samtidigt erhålls lägre driftkostnader vilket kan kompensera för de ökade investeringskostnaderna (Al-Hanahi, et al., 2021). Elektrifiering kommer även förändra förutsättningarna för planering då tidsscheman som ofta redan är pressade dessutom kommer behöva inkludera stillestånd för laddning och begränsas av elektrifierade fordonens kortare räckvidd, något som påverkar effektiviteten och därmed både transportör och transportköpare (Nordin & Andersson, 2022). Detta skapar ett behov av att utforma lämpliga laddstrategier och anpassa dessa efter faktorer såsom exempelvis påverkan på elnätet, laddinfrastruktur och uppdragens karakteristik (Li, et al., 2023; Teoh, 2022; Al-Hanahi, et al., 2021). Även utformningen av batterier bör betraktas som en barriär, då det krävs stora och tunga batterier för att möjliggöra lång räckvidd och ytterligare försvårar planeringen (Hammes, 2020).

Som ovan nämnt förändras förutsättningarna för transportörer och transportköpande företag med en ökad grad av elektrifierade tunga transporter. Förutsättningarna kan se olika ut beroende på aktörers roll och därför är det intressant att undersöka frågan ur vinklar som tar hänsyn till dessa olika aktörer. För att introducera nya förnybara bränslen i transportsektorn krävs det enligt Simm (2024) resurser och ett driv från aktörerna. Björklund (2011) konstaterar att transportköpare kan vara viktiga möjliggörare för hållbara transportalternativ genom att ställa krav på transportörer, men de kan även utgöra stora hinder om motsägande krav ställs. Transportköparna äger även till stor del de finansiella resurserna som är viktiga för att genomföra omställningen till förnybara bränslen (Simm, 2024), vilket innebär att transportköparnas perspektiv bör inkluderas i studien.

Trots de beskrivna barriärerna finns det företag som vill vara i framkant, så kallade ”early adopters” vilka satsar på elektrifiering av tunga transporter trots att den elektrifierade lastbilen fortfarande är i introduktionsfasen (Fahy, 2022). Miljöserviceföretaget Renall och återvinningsföretaget Returpack med bas i Östergötland är två företag som beskriver sig ha hållbarhet i stort fokus. Båda har tidigare arbetat mot en utfasning av fossila bränslen samt antagit transportutmaningen som innebär att alla transporter som köps in eller utförs år 2030 ska vara helt fossilfria (Fossilfritt Sverige, u.å.). Som nästa fas har de nu utvecklat offensiva mål om en högre andel elektrifiering av tunga lastbilar.

Medarbetare på Renall beskriver att de har fordon såsom bland annat komprimatorbilar, kranbilar, containerlastbilar samt sug-, slam- och spolbilar. Deras mål är att 100% av deras fordon ska vara elektrifierade år 2030. Utöver tidigare nämnda barriärer tillkommer svårigheter med oförutsägbara rutter och kraftuttag från användning av lastbilens utrustning. Returpack är en nyckelaktör i det svenska pantsystemet, står bakom varumärket Pantamera och återvinner

dryckesförpackningar som samlas in i bland annat livsmedelsbutiker och på restauranger runt om i Sverige (Pantamera, u.å.-b). Till år 2030 är deras mål att ha noll klimatutsläpp enligt ramverket Greenhouse Gas Protocol (Pantamera, u.å.-a). Logistikavdelningen på Returpack berättar att de köper in samtliga transporttjänster från transportörer och arbetar nu mot att börja krävställa att deras leverantörer ska övergå till elektrifierade fordon. I leverantörsbasen finns bland annat Renall som idag har totalt fyra Returpacksbilar i bruk varav en av dessa är elektrifierad.

Med de offensiva elektrifieringsmålen uppstår utmaningar och denna rapport undersöker därmed de centrala aspekterna av att implementera elektriska lösningar för tunga fordon. Genom att bedriva en fallstudie med transportören Renall och det transportköpande företaget Returpack kan olika synvinklar och påverkansfaktorer tas i beaktning. Det stämmer överens med Gillström (2023) som beskriver elektrifiering av godstransporter som ett mångsidigt område med många perspektiv.

1.2 Syfte

Med utgångspunkt i bakgrundsbeskrivningen och samtal med fallföretagen har syftet formulerats som följande:

Syftet är att utreda hur transportörer och transportköpare kan arbeta mot fullständig elektrifiering av tunga transporter.

Fortsättningsvis kommer elektrifiering av tunga transporter benämnas som elektrifiering.

1.3 Frågeställningar

För att lättare kunna besvara syftet är det först nödvändigt att bryta ned det i delar. Det resulterar i fyra huvudfrågor.

Elektrifieringen av tunga lastbilar är påbörjad men ännu i ett tidigt skede då det i januari 2024 enbart fanns 531 eldrivna tunga lastbilar i Sverige (Power Circle, u.å.). Uppskalning av elektrifiering är därmed förhållandevis obeprövat, vilket skapar ett behov av en ny metodik som strukturerat och systematiskt utreder hur uppskalning av elektrifiering bör genomföras. Det blir extra viktigt eftersom flertalet förutsättningar förändras vid elektrifiering, vilka bör tas hänsyn till i implementeringen (Nordin & Andersson, 2022). Som nämnt av Nordin och Andersson (2022) kommer bland annat planeringsavdelningen behöva ta hänsyn till fordonens kortare räckvidd och scheman behöver även innefatta stillestånd för laddning. Även nya laddstrategier behöver utvecklas, något som påverkas av yttre faktorer såsom laddinfrastruktur och elnätscapacitet (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Likaså behöver avvägning göras kring vilken batterikapacitet som är lämplig, då större och fler batterier ger längre räckvidd (Basma, et al., 2022; Burke, et al., 2023; Lindbom, et al., 2024; Leonard, et al., 2022). Det blir således relevant att undersöka hur de förändrade förutsättningarna ska hanteras för att transportör och transportköpare ska kunna genomföra en uppskalning och uppnå fullständig elektrifiering. De många olika förutsättningarna skapar ett behov av att utveckla en metodik för att på ett

strukturerat och systematiskt vis utreda hur genomförandet bör utformas och den första huvudfrågan formuleras således som följande:

1 Hur kan en metodik utformas för uppskalning av elektrifiering med hänsyn till de nya förutsättningarna som elektrifieringen medför?

Abrahamsson och Aronsson (1999) samt Oskarsson et al. (2021) påpekar behovet av att kartlägga nuläget för att ha en utgångspunkt att jämföra nya förändringar med. För att kunna identifiera vilka förutsättningar som förändras för transportörer och transportköpare vid elektrifiering finns därför behovet att kartlägga hur det innevarande logistiksystemet för fordon med förbränningsmotorer utformats i dagsläget. Genom att studera både transportör och transportköpare som har liknande visioner och arbetar nära varandra kan även dessa jämföras för att undersöka om det finns gemensamma förutsättningar som båda aktörer behöver hantera eller om skillnaderna är så stora att olika strategier behöver utvecklas. Därför är det även intressant att undersöka om det finns några likheter och skillnader i nuläget för transportör och transportköpare. Den andra huvudfrågan utformas således som följande:

2 Hur ser nuläget ut för transportör och transportköpare och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?

När nuläget är kartlagt är nästa steg att med utgångspunkt från detta applicera den utvecklade metodiken från huvudfråga 1. Det för att utforma en konkret strategi för hur fallföretagen bör agera för att kunna skala upp mot en ökad andel elektrifierade fordon och kunna uppnå deras högt satta mål. Dessutom finns möjlighet för transportör och transportköpare att nyttja varandra genom att utbyta erfarenheter och påverka varandra för att förenkla genomförandet. Att studera likheter och skillnader mellan företagen för att relatera genomförandet till dess karakteristik blir därför aktuellt och huvudfråga 3 formuleras som följande:

3 Hur genomförs uppskalning av elektrifiering för transportör respektive transportköpare utifrån den utvecklade metodiken och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?

Teknologin för elektrifierade fordon finns idag tillgänglig och införandet av denna är möjlig, men det kan komma att ske på bekostnad av bland annat ekonomiska aspekter (Moll, et al., 2020). Som tidigare nämnt medför elektrifierade fordon en förändrad kostnadsstruktur med lägre driftkostnader (Al-Hanahi, et al., 2021) men med högre investeringskostnader (Nordin & Andersson, 2022). Det leder till att fördelningen av kostnader förändras mellan kostnadsposter och det blir således intressant att undersöka hur kostnadsfördelningen skiljer sig mellan olika bränsletyper. Vidare menar Uhrdin (2023) att transportörer behöver revidera sina kalkyler och transportköpare kan behöva betala mer för de utförda tjänsterna. Därför är det eftersträvarsvärt att studera hur införandet av elektrifierade fordon ska ske på ett ekonomiskt hållbart sätt. Detta innebär att sträva efter att uppnå lönsamhet där intäkter är större än kostnader (Holmström & Lindholm, 2011). Den fjärde huvudfrågan formuleras därför som följande:

4 Hur förändras kostnadsfördelningen vid elektrifiering för transportör och transportköpare och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?

1.4 Avgränsningar

Elektrifiering av fordon är ett område som får alltmer uppmärksamhet i forskning och blir alltmer aktuellt för företag att anpassa sig till. I takt med detta ökar områdets bredd och således behovet av att avgränsa studien för att göra den genomförbar inom en begränsad tidsram. Den här studien kommer att bedrivas som en fallstudie med de svenska företagen Renall och Returpack och därmed utgå ifrån det system och det behov som dessa två företag har. Detta medför att endast elektrifiering av tunga lastbilar (>16t) och svenska regelverk kommer tas i beaktning.

För att avgränsa studien ytterligare kommer ett urval av Renalls och Returpacks transporter att göras. Extra vikt kommer att läggas på att välja ut fordonstyper och tillhörande rutter som är representativa för hela fordonsflottan och som gör att studiens resultat kan generaliseras och vid senare behov appliceras på fordonstyper som exkluderas ur studien.

Framtiden är osäker och för att undvika att studiens resultat påverkas av allt för mycket spekuleringar och osäkra estimeringar kommer studien utgå från fallföretagens rutter och behov från föregående år, samtidigt som eventuella volymökningar exkluderas. Likaså kommer den senaste typen av teknik tas i beaktning. Detta innebär att de fordon som det idag finns underlag för kommer att användas, trots att fordon med bättre prestanda kan komma att säljas före år 2030. Detta inkluderar även laddtyper, där plug-in laddning kommer vara den primära laddtypen som studeras. Andra möjliga laddtyper är till exempel battery swapping och trailer swap, men brist på standardisering och fallföretagens karakteristik gör att detta inte kommer vara en lämplig lösning för fallföretagen före år 2030 och därför exkluderas dessa metoder.

Att undvika spekuleringar ämnas eftersträvas i den grad det är möjligt, men viss grad av spekuleringar kommer vara oundvikligt för att kunna slutföra studien. I de fall där estimeringar kommer behöva göras, exempelvis för att uppskatta kapacitet och inköpspris på fordon som ännu inte utkommit på marknaden, kommer dessa om möjligt göras på faktabaserade beslut. Det kan göras genom att jämföra andra studier eller offerter och sedan använda en skalfaktor på de befintliga underlagen.

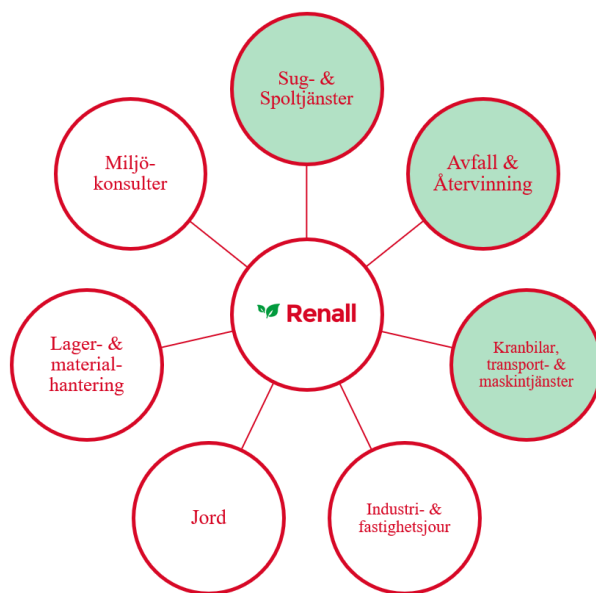
2 Situationsbeskrivning

I följande kapitel ges en grundläggande beskrivning av fallföretagens verksamheter för att ge en initial bakgrundskunskap. Sist presenteras företagens koppling till varandra och ett urval av de verksamhetsområden och flöden som vidare kommer att studeras.

2.1 Renall

Följande beskrivning av Renall och dess verksamhet är baserat på intervjuer av anställda med chefspositioner inom drift, logistik och hållbarhet, där ingen annan källa anges.

Renall är ett svenskt miljöserviceföretag grundat i Norrköping som erbjuder ett brett utbud av miljöservicetjänster såsom exempelvis tjänster med slamsugning, högtrycksspolning, avfalls- och återvinningslösningar, fastighetsjour, kranbil- och transporttjänster samt miljökonsulttjänster (Renall, u.å.-b; Renall, u.å.-a). Idag har företaget kontor på tre platser: Norrköping, Linköping och Örebro och erbjuder även tjänster på dess närliggande orter (Renall, u.å.-a). Renall riktar sig till företag, privatpersoner och kommuner (Renall, u.å.-b) och har således många varierande uppdrag av olika karaktär och storlek. Renalls verksamhet kan klassas in i olika kategorier (*Figur 1*). De grönmarkerade kategorierna kommer vidare studeras.

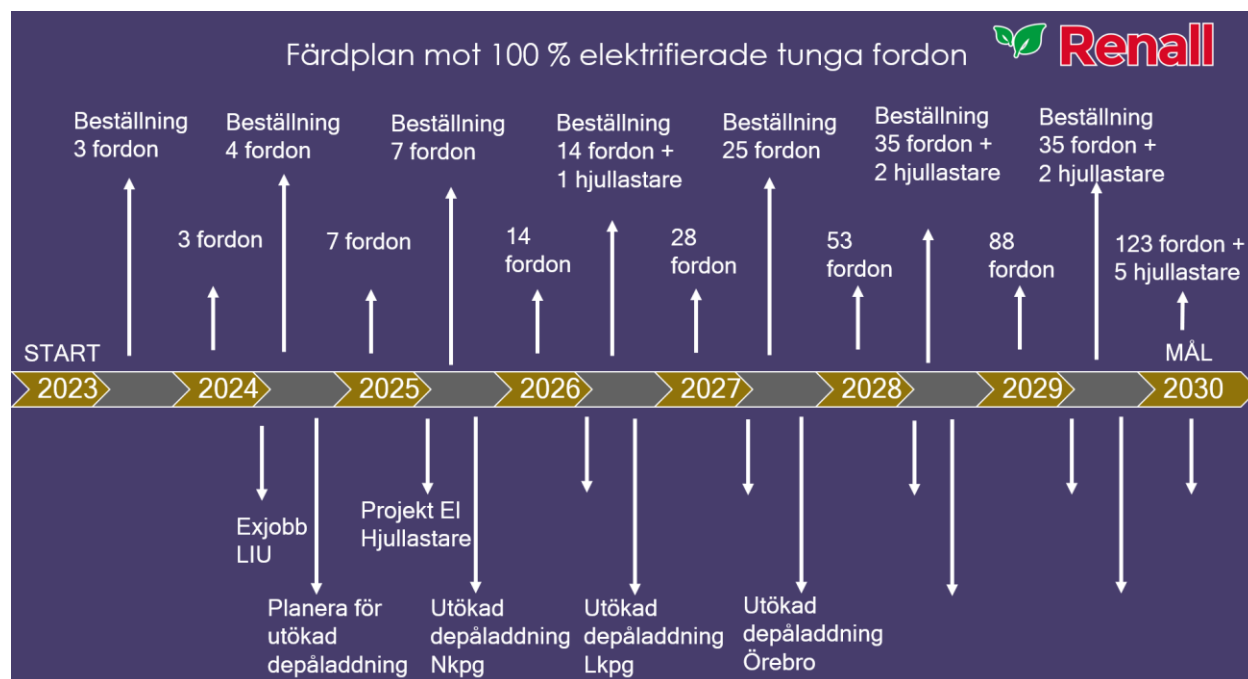


Figur 1: Renalls olika verksamhetsområden.

2.1.1 Hållbarhetsmål

Renalls vision är att vara branschens hållbaraste helhetsleverantör inom miljöservice där de arbetar med såväl social och ekonomisk, som miljömässig hållbarhet. Samtliga av Renalls transporter körs fossilfritt, främst HVO eller RME men även biogas eller el, för att minska utsläppen vilket är en viktig del i företagets hållbarhetsarbete (Renall, u.å.-b). Renalls styrelse

har nyligen beslutat att samtliga fordon i deras fordonsflotta ska vara elektrifierade i slutet av år 2030. För att detta ska vara möjligt krävs en offensiv strategi med utrullning av ett stort antal nya fordon varje år fram till 2030. Renalls planering för detta visas i *Figur 2* nedan.



Figur 2: Renalls tidsplan för utrullning av elektrifierade lastbilar.

Renall strävar efter att vara en hållbar leverantör och drivs främst av att värna om miljön. De ser många fördelar med att vara ett företag med hållbarhetsfokus och att vara tidiga med att elektrifiera sin fordonsflotta. Dessutom förväntar de sig att det i framtiden kommer bli allt vanligare att kunder ställer krav på elektrifierade lastbilar i sina anbud. Att vara tidiga med elektrifierande fordon är något som kan differentiera dem från konkurrenter i branschen. Det finns även ekonomiska aspekter såsom bidrag att ta del av och de förväntar sig även att det kommer vara lättare att sälja vidare sina nuvarande lastbilar med förbränningsmotorer.

Ett ökat antal elektrifierade fordon medför även ett behov av att parallellt utveckla laddmöjligheter för depåladdning på deras olika anläggningar. Detta är idag ett pågående arbete. Vid anläggningen i Norrköping finns även ett batteri som laddas via solceller som kan nyttjas när elpriserna stiger. Idag är arbetet som kopplar till inköp av fordon, utbyggnad av laddinfrastruktur och omvärldsbevakning fördelat på flera arbetsroller hos Renall.

2.1.3 Fordon

Renalls fordonsflotta i Norrköping består av totalt drygt 100 fordon av olika kategorier och utföranden. *Figur 3* visar några olika fordonstyper som finns i Renalls fordonsflotta. Gemensamt för många är att de är tunga fordon (>16t) och har en påbyggnad såsom exempelvis komprimatorskåp, kran eller spolutrustning. Dessa påbyggnader kräver ett kraftuttag för att

fungera, vilket gör att energi förbrukas trots att fordonet är stillastående. Användandet av påbyggnaden ger därmed ofta upphov till höga ljudvolym. Påbyggnaderna har ofta också en ökad vikt som i sin tur minskar den tillgängliga lastvikten. Detta ses dock inte som ett problem då det snarare är en containers skrymmande volym som idag är begränsande faktor. Vissa av Renalls fordon delas mellan chaufförerna medan majoriteten av fordonen har en fast chaufför och framförs därmed enbart under den chaufförens arbetstider.



Figur 3: Bilder på några av Renalls olika fordonstyper.

2.2 Returpack

Följande beskrivning av Returpack och dess verksamhet är baserat på intervjuer med anställda på Returpacks logistikavdelning, där ingen annan källa anges.

Returpack är ett svenskt aktiebolag med säte i Norrköping vilka hanterar insamling och återvinning av dryckesförpackningar i bland annat livsmedelsbutiker. År 2022 hanterades 2,6 miljarder återvunna förpackningar (Returpack, 2023b). Företaget ägs gemensamt av Sveriges Bryggerier AB, Svensk Dagligvaruhandel Ekonomiska Förening och Livsmedelshandlarna SSFL, med en fördelning på 50%, 25% respektive 25% (Returpack, 2023a). Returpack arbetar med producenter och importörer för att skapa ett effektivt system för återvinning av förpackningar, främst plastflaskor och aluminiumburkar. Företaget är en del av det svenska systemet för pantning, där konsumenter kan lämna in sina tomma förpackningar och få pantpengen tillbaka som incitament för återvinning. Genom deras tjänster blir det möjligt att minska miljöpåverkan genom ett cirkulärt kretslopp och en cirkulär ekonomi. Idag är Returpack det enda företaget som hanterar det svenska pantsystemet. Historiskt har det inte heller funnits någon konkurrens, vilket dock inte hindrat Returpack från att arbeta proaktivt och med hållbarhet i fokus. Därtill har de tillsynsmyndigheter, där Naturvårdsverket är ansvarig myndighet (Returpack, 2023a).

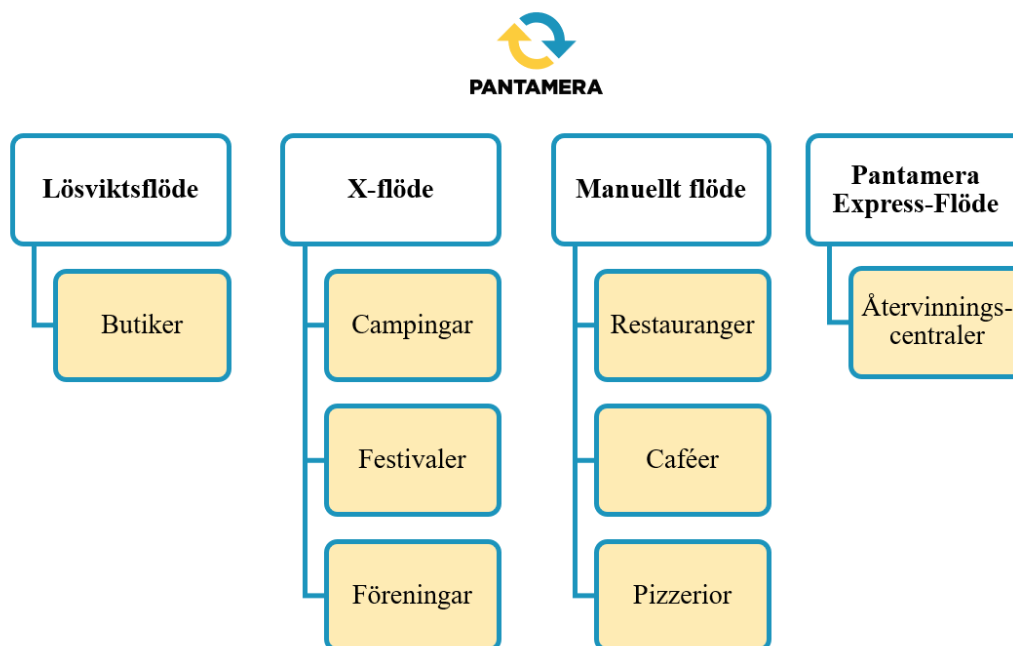
2.2.1 Hållbarhetsmål

Returpack har identifierat påverkan från transporter som en negativ miljöpåverkan till följd av de utsläpp de genererar. Detta klassar de som den tredje viktigaste frågan att arbeta med, efter ökad återvinning och produktkvalitet (Returpack, 2023a). Det har gjort att de tidigare arbetat mot en utfasning av fossila bränslen samt antagit transportutmaningen som innebär att alla transporter som köps in eller utförs år 2025 ska vara helt fossilfria (Fossilfritt Sverige, u.å.), något som de uppnådde redan år 2024. Som nästa fas har de nu utvecklat offensiva mål om en högre andel elektrifiering av tunga lastbilar.

Pantsystemet i sig möjliggör tack vare sin closed loop en besparing på 180 000 ton CO₂ per år. Returpacks mål är att uppnå en återvinningsgrad på 90%. I dagsläget är de på god väg och år 2022 var återvinningsgraden 87,4%.

2.2.2 Flöden

De ingående logistikflödena är indelade i de fyra kategorierna lösvikt, Pantamera Express, X-flöde och manuella flöden (*Figur 4*). Insamling sker hos cirka 3 200 butiker med pantautomat, cirka 70 återvinningscentraler och cirka 9 000 övriga insamlare, exempelvis caféer, restauranger och föreningar (Returpack, 2023a). Dessa beskrivs övergripande nedan.



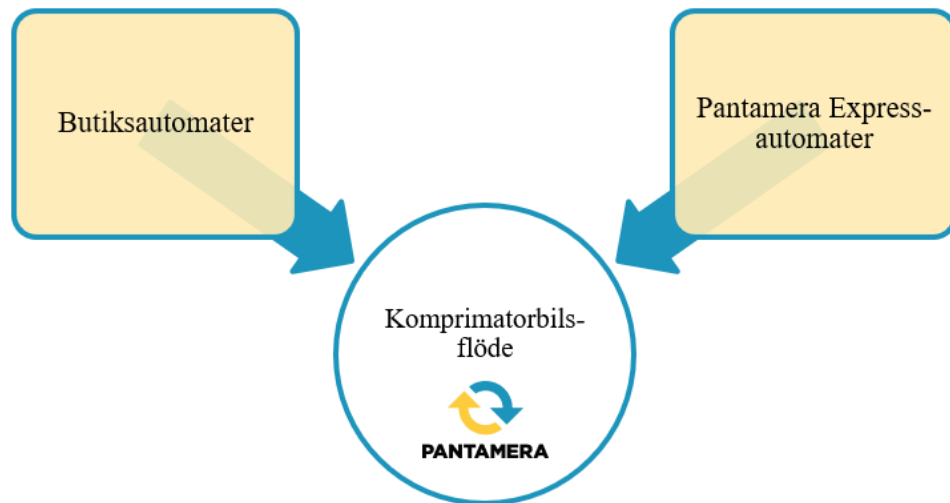
Figur 4: Returpacks olika ingående logistikflöden samt exempel av insamlingskällor markerade i gult.

Manuellt- och X- flöde

Manuella flöden är okomprimerade dryckesförpackningar som samlats in i exempelvis butiker, på caféer och restauranger eller via föreningar. Dessa okomprimerade förpackningar samlas in i säckar via dryckesleverantörers egna lastbilar. X-flöden är okomprimerade förpackningar som samlas in från exempelvis skidanläggningar, festivaler och campingar. Dessa förpackningar hämtas via traditionella lastbilar. De manuella flödena och X-flödena lämnas på depåer runt om i Sverige och transporteras sedan vidare med lastbil och släp till återvinningsanläggningen i Norrköping.

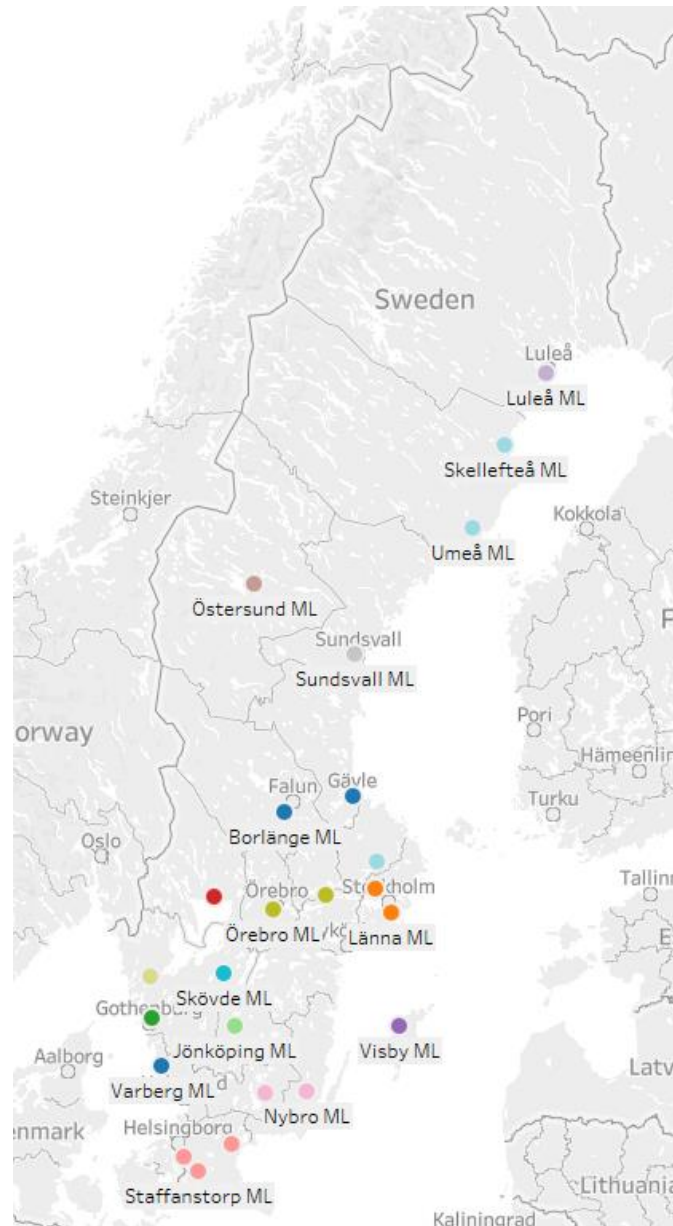
Lösvikts- och Pantamera Express-flöde

Insamling av lösviktsflödet och delar av Pantamera Express-flödet samkörs och hämtas av komprimatorbilar vilka står tillsammans för 93,1% (livsmedelsbutiker (87,7%) och återvinningscentraler (5,4%)) av det totala insamlade flödet. Lösviktsflödet motsvaras av de förpackningar som samlas in via pantmaskiner i livsmedelsbutiker. Pantamera Express består av maskiner som kan ta emot flera förpackningar samtidigt och står utplacerade på återvinningscentraler och i vissa butiker. Studien kommer vidare fokusera på komprimatorbilsflödena från pantmaskiner i livsmedelsbutiker samt Pantamera Express-automater och dessa är därför markerade i Figur 5 nedan. Det innefattar samtliga lösviktsflöden och Pantamera Express-flöden.



Figur 5: Lösviktsflödet och Pantamera Express-flödet som samlas in via automater och transporteras med komprimatorbilar.

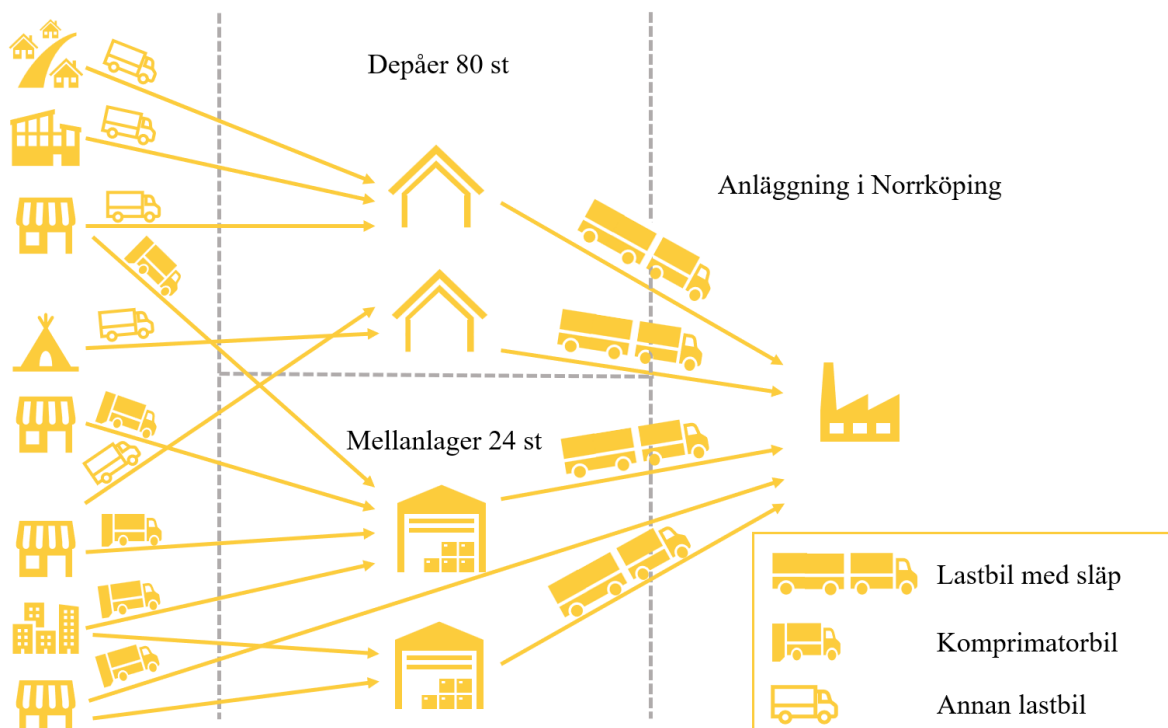
År 2022 genomfördes 300 000 hämtningar av komprimatorbilarna. Dessa förpackningar samlas i kärl eller säckar som sedan töms i hämtande komprimatorbilar (Returpack, 2023a). Returpack har idag (i början av år 2024) 58 komprimatorbilar vilka är fördelade på 20 insamlingsområden och transporterar till 24 mellanlager över hela Sverige. Dessa mellanlager finns markerade i Figur 6 nedan.



Figur 6: Karta med mellanlager markerade.

Förpackningar samlas in i respektive område och lämnas på tillhörande mellanlager eller depå. Fordonen kan återkomma till mellanlagret under en rutt för att tömma, eftersom volymen begränsar kapaciteten. Detta kallas att ett fordon mellantömmar. Vilka fordon som används för dessa insamlingar skiljer sig beroende på vilket flöde det insamlade materialet tillhör. Från varje depå eller mellanlager sker sedan transporter med lastbil och släp till anläggningen i Norrköping. Figur 7 nedan visar en övergripande och förenklad bild av detta flöde. Angränsande områden till Norrköping saknar mellanlager då dessa levererar direkt till sorteringsanläggningen i Norrköping.

Upphämtningsplatser



Figur 7: Returpacks ingående flöde med depåer och mellanlager och dess fordonstyper samt konsolidering av transporter till anläggningen i Norrköping.

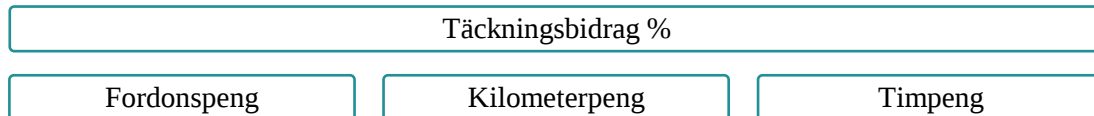
Varje område har en egen transportleverantör som ansvarar för insamlingen i det området. Inom detta område finns förutbestämda rutter som Returpack själva optimerar i sina system. Rutterna är beroende av fordonets karakteristik, årsvolym, butikens behov, öppettider, särskilda krav samt geografi. Rutterna skiljer sig även över säsong, då maj till augusti oftast är högsäsong och kunder efterfrågar fler tömningar. Vid ruttoptimering är det volymen snarare än vikten som är den begränsade faktorn. Utfallet skiljer sig dock ofta från den planerade rutten. Detta på grund av bland annat oväntade stopp, väderleksförhållanden och reparationer. Dessutom är chaufförerna beroende av att butikspersonal låser upp butiken och ger dem tillträde till pallen.

2.2.3 Leverantörer

I och med att Returpack bedrivs i form av ett aktiebolag har de fria val att utforma sina anbudsprocesser och val av leverantörer. Nuvarande leverantörer upphandlades på avtal som är giltiga i 5 + 2 år och avtalen går ut i perioden 2026-2032. Returpack sätter bland annat krav på leverantörerna med vilket drivmedel de ska köra lastbilarna med, men även krav kring att de ska vara kapabla att erbjuda mellanlager samt en god personlig service mot butikerna.

Returpack har utformat en ersättningsmodell för insamling med komprimatorbilar vilken inkluderar fordonspeng, kilometerpeng, arbetsinsats och täckningsbidrag (*Figur 8*). För fordonet

betalas en fast månatlig ersättning för komprimatorfordon och tillhörande fasta kostnader för exempelvis påbyggnaden. Det ska täcka fordonskostnaden, fordonsskatt, försäkringar och skador samt övriga fasta kostnader (uppställningsplats, mobiltelefoni och IT, tvätt). Utöver ersättning för fordon tillkommer även ersättning för körsträcka vilken är kilometerbaserad och inkluderar alla rörliga kostnader så som drivmedel, service, däck etcetera. För arbetsinsatsen utgår en timbaserad ersättning för chaufförens lön, vilket varierar beroende på om det är vardag eller helg. Dessutom tillkommer ett procentuellt täckningsbidrag för att täcka övriga kostnader och ge leverantören en marginal.



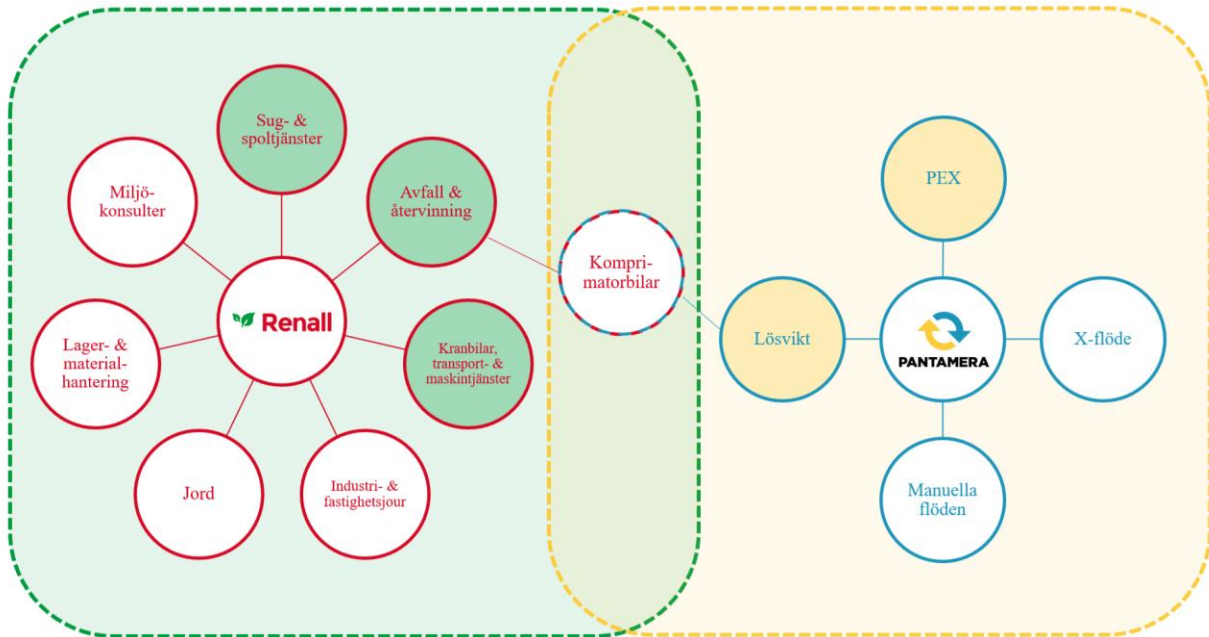
Figur 8: Returpacks ersättningsmodell.

2.2.4 Fordon

På rutterna i insamlingsflödet mellan insamlingsplatserna och dess mellanlager används komprimatorlastbilar. En komprimatorlastbil är en typ av sopbil som används för insamling och transport av avfall. Den har en påbyggnad som komprimerar avfallet för att öka lastkapaciteten och minska behovet av frekvent tömning. Vid komprimering uppstår höga ljudvolymmer. Genom att trycka samman avfallet kan komprimatorlastbilar transportera större mängd förpackningar på ett effektivt sätt, något som dock kräver energi. Komprimatorskåpen som används på dessa fordon är specialanpassade för Returpacks produkter och helchartrade åt Returpack vilket innebär att fordonen varken kan eller får användas i andra uppdrag än Returpacks uppdrag.

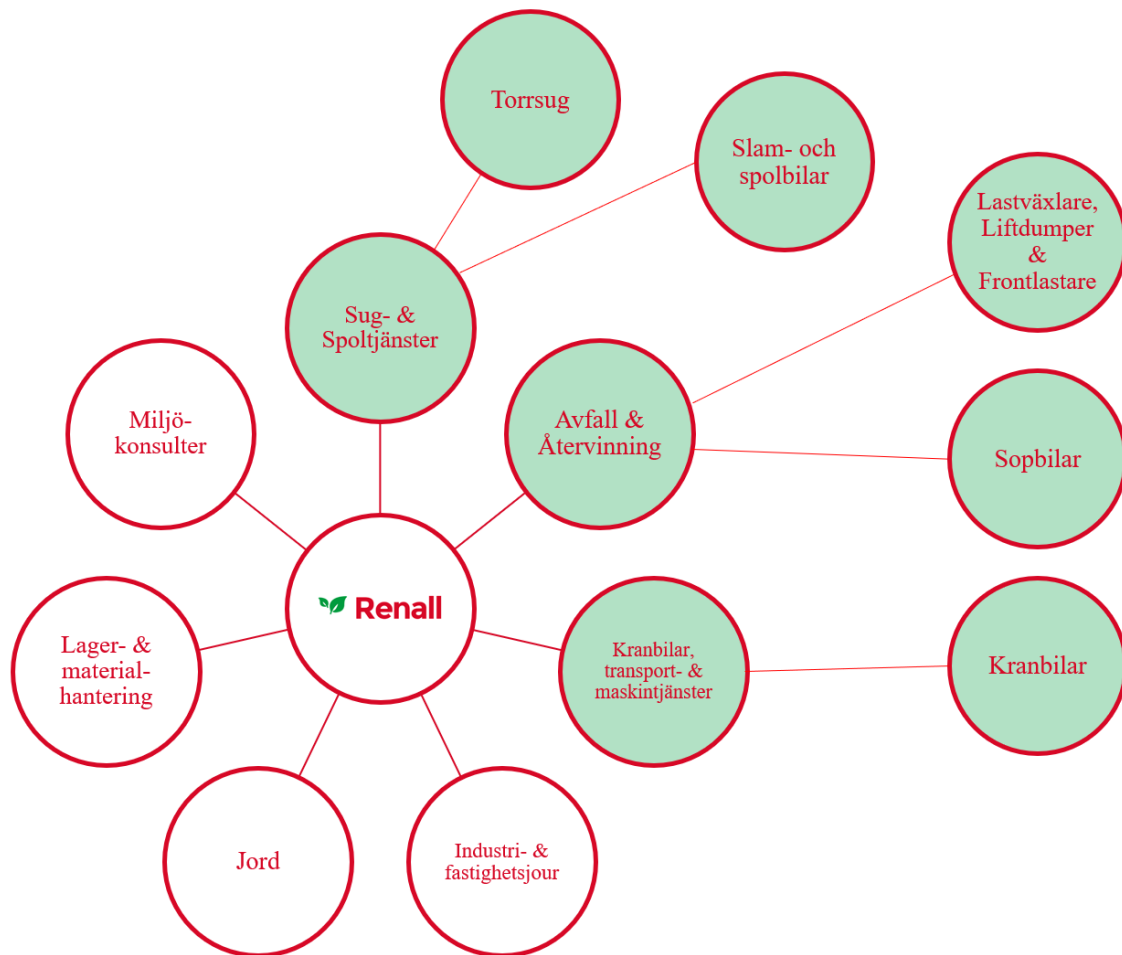
2.3 Studerat system

I det nämnda systemet representerar Renall en transportör och Returpack är transportköpare. Av Returpacks transportleverantörer står Renall för tillhandahållande av fordon i området Östergötland. Av Returpacks totala 58 komprimatorbilar ägs 4 av dessa av Renall. *Figur 9* nedan visar på företagens koppling.



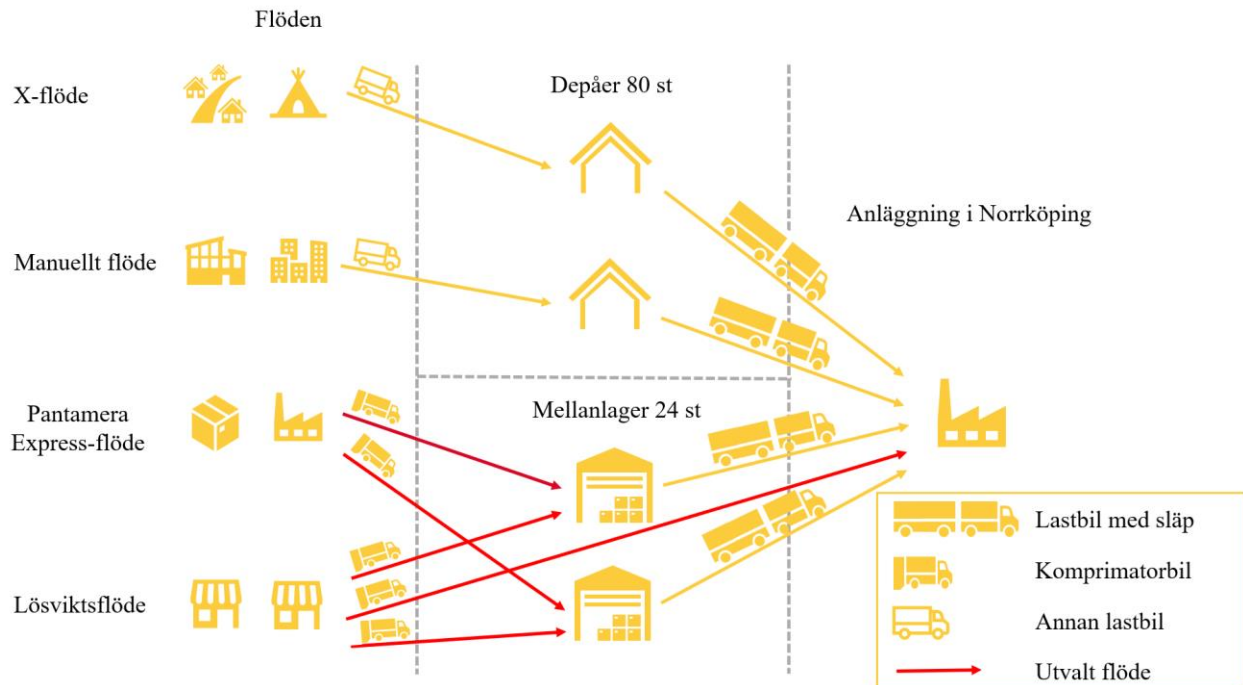
Figur 9: Transportören Renall och transportköparen Returpack och deras koppling.

Ett urval av Renalls verksamhet kommer vidare att studeras. Efter diskussioner med medarbetare med chefspositioner inom drift, logistik och hållbarhet på Renall har områdena *Sug- och Spoltjänster*, *Avfall och Återvinning* samt *Kranbilar, Transport- och Maskintjänster* valts ut. Inom dessa områden ingår de flesta av Renalls tunga lastbilar, av olika karaktär. Dessa är markerade i grönt i *Figur 10* nedan.



Figur 10: Urval av områden och fordonstyper hos Renall som vidare kommer att studeras markerade i grönt.

Hos Returpack har logistikavdelningen efterfrågat en undersökning av elektrifiering av deras 58 komprimatorlastbilar. Detta motsvaras av lösviktsflöden och Pantamera Express-flöden från butiker och återvinningscentraler in till mellanlager och studien avgränsas därför till att endast innefatta dessa flöden. Dessa finns redovisade i *Figur 11* nedan.

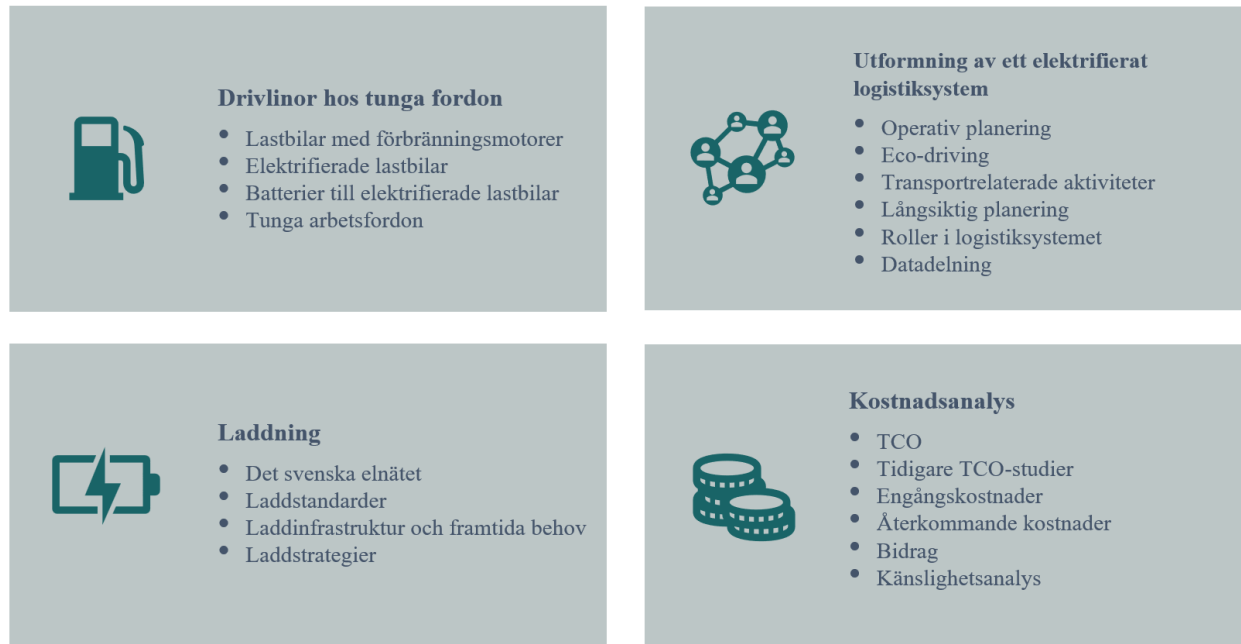


Figur 11: Utvalda flöden som körs med komprimatorbilar är markerade i rött.

3 Referensram

I följande kapitel presenteras studiens referensram med syftet att från akademisk litteratur samla den information och kunskap som idag finns om ämnet. Referensramen har delats in i avsnitten: Drivlinor hos tunga fordon, Laddning, Utformning av ett elektrifierat logistiksystem och Kostnadsanalys, som sedan ska ligga till grund för den vidare studien.

Referensramen har delats in i fyra huvudområden som visualiseras i *Figur 12* nedan. Som presenterat i studiens syfte ämnas en undersökning göras kring hur företag bör hantera och genomföra en uppskalning mot fullständig elektrifiering. I dagsläget består Renall och Returpacks fordonsflottor till stor del av tunga lastbilar med förbränningsmotorer för diesel och gas. Målet att byta ut dessa till lastbilar med eldrivna motorer gör det relevant att undersöka vad som skiljer dessa åt och det första området ämnar därför undersöka detta. En högre andel elektrifierade lastbilar medför sedan ett ökat behov av laddning, effektbehov och laddinfrastruktur vilket det andra området ämnar skapa en större förståelse för. Likaså förändras logistiksystemet och dess utformning vid elektrifiering vilket diskuteras i område tre. Elektrifierade lastbilar medför även en förändrad kostnadsstruktur samtidigt som Renall och Returpack vill bibehålla en ekonomisk hållbarhet. Detta medför ett behov av att genomföra kostnadsanalyser som diskuteras i område fyra. Dessa olika områden ämnas sedan användas vid utformning av strategi för genomförandet av uppskalning av elektrifiering.



Figur 12: Referensramens olika områden och dess underområden.

3.1 Drivlinor hos tunga fordon

Fordon kan framföras med olika typer av drivlinor vilka består av olika delar och har skilda egenskaper. I följande avsnitt kartläggs därmed dieseldrivna-, gasdrivna- och elektrifierade lastbilar samt batterier till elektrifierade lastbilar och slutligen tunga arbetsfordon.

3.1.1 Lastbilar med förbränningsmotorer

Under en lång tid har diesel varit det vanligaste drivmedlet för tunga lastbilar men till följd av dess miljöpåverkan har andra drivmedel introducerats. Däribland batteridrivna elektriska fordon (Gillström, 2023) vilka använder batterier för att driva en elmotor (Cunanan, et al., 2021). En tank i en diesellastbil kan transportera stora volymer bränsle, vilket beroende på förbrukning kan ge en lång räckvidd (Kopasz & Krause, 2019). Att tanka en full tank kan genomföras på cirka 10–15 minuter, beroende på flödes hastighet och dess storlek (Kopasz & Krause, 2019). Infrastrukturen för dieseltankning för lastbilar är väl etablerad i Sverige. Dieselprierna beror av globala marknadsförhållanden samt nationella skatter etcetera och historiskt har dieselprierna varierat kraftigt (Lindbom, et al., 2024). Energieffektiviteten för förbränningsmotorer är låg då en motors verkningsgrad beräknas till 40–45% för en dieselmotor samt 35–40% för en biogasmotor eftersom resterande försvinner i värme eller friktion (Huang & Zhang, 2011; Hong, 2023).

Förbrukningen för diesel- och gasdrivna fordon presenteras sällan i förbrukad energi (kWh), vilket resulterar i att det krävs beräkningar för att jämföra dessa fordon med elektrifierade. I Tabell 1 presenteras energiinnehållet för HVO och Biogas samt hur ett fordon's totala energiförbrukning kan beräknas, utan hänsyn till verkningsgrad.

Tabell 1: Energiinnehåll för HVO och biogas samt beräkningsmetod för energiförbrukning.

Drivmedel	Energiinnehåll	Beräkning	Källa
HVO	9 440 [kWh/m ³]	förbrukning diesel * energiinnehåll diesel	(Energimyndigheten, 2023)
Biogas	9 700 [kWh/1000 Nm ³] 12 930 [kWh/1000kg]	förbrukning gas * energiinnehåll gas	(Energimyndigheten, 2023)

3.1.2 Elektrifierade lastbilar

Batteridrivna eldrivna lastbilar (hädan efter kallat elektrifierade lastbilar) använder ett batteri för att driva en elmotor. Detta görs vanligen med litiumjonbatterier på grund av dess höga energitäthet och energieffektivitet samt dess långa livslängd (Fioriti, et al., 2023), vilken dock påverkas av temperatur, typ av körning, förarbeteende och laddeffekt (Burke, et al., 2023; Fioriti, et al., 2023). Underhåll för en elektrifierad lastbil är 20–30% billigare än för en dieseldriven lastbil. Det till följd av att det är färre rörliga mekaniska delar vilket innebär lägre slitage och service av dessa (Pelletier, et al., 2014; Whitehead, et al., 2022). Även Kleiner & Friedrich, (2017) instämmer vars studie konstaterade att underhållskostnaderna är 33% lägre förutsatt att inte batterier eller motor behöver bytas ut. Att värma hytten är mer kostsamt för elektrifierade lastbilar eftersom det kommer från elmotorn och inte från spillvärme som är fallet för dieseldrivna fordon (Ohno, et al., 2015).

Elektrifierade lastbilar uppnår en högre effektivitet eftersom de har lägre energiförluster i form av värme, något som uppstår vid förbränning av bränsle. Dessutom har elektrifierade lastbilar ett system som kan ta till godo den kinetiska energi som går förlorad vid inbromsning (Wen & Zhang, 2015). Energianvändningen för en elektrifierad lastbil mäts vanligen i enheten kWh/mil (Burke, et al., 2023). Under vintern, då omgivningstemperaturen sjunker, ökar energiförbrukningen med 20-30% (Mareev, et al., 2017).

3.1.3 Batterier till elektrifierade lastbilar

Batteristorleken i elektrifierade lastbilar har historiskt sett ökat, eftersom det har gett längre räckvidd och snabbare laddning till följd av möjligheten till högre effekter (Lindbom, et al., 2024). Vid valet av batterier bör finansiella aspekter vägas mot räckvidd och lastvikt (Basma, et al., 2022; Burke, et al., 2023; Lindbom, et al., 2024; Leonard, et al., 2022). Räckvidden beror delvis på hur många batterier som lastbilen har och fordonets vikt (Cunanan, et al., 2021; Uhrdin, et al., 2023; Lindbom, et al., 2024). Färre batterier möjliggör en kortare hjulbas, vilket underlättar för stadskörning då lastbilen blir lättare att manövrera (Volvo Trucks, 2024). Batterierna är dock tunga så för att inte begränsa lastvikten mer än nödvändigt bör lastbilen inte utformas med fler batterier än vad räckvidden kräver (Al-Hanahi, et al., 2021). En ökad fordonsvikt innebär dessutom en högre energiförbrukning (Baek, et al., 2020). Överdimensionering har dock vissa fördelar, då det kan öka batteriernas livslängd om batteriet inte når urladdat tillstånd (Karlsson & Grauers, 2023; Burke, et al., 2023; Fioriti, et al., 2023).

Större batterier kräver dessutom mindre andel publik laddning (Lindbom, et al., 2024). Resultatet av en studie av Karlsson och Grauers (2023) indikerar på att större batterier är billigare än publik laddning.

Batteriers livslängd är beroende på antalet laddningar och urladdningar (Sandhya & Nisha, 2022). Ett batteri anses ha nått "end-of-life" när det har förlorat 20% av sin kapacitet (Burke, et al., 2023; Fioriti, et al., 2023). Batteriernas livslängd påverkas negativt av snabbaddning (Burke, et al., 2023; Daniels, et al., 2022; Fioriti, et al., 2023; Sandhya & Nisha, 2022; Xuebing, et al., 2019) och ger således upphov till en kostnad för batteribyte (Baek, et al., 2020). Dessutom påverkas batteriets livslängd negativt om det laddas fullt (Burke, et al., 2023; Fioriti, et al., 2023). Batterier tar emot laddning bättre om det är uppvärmt (Fioriti, et al., 2023) och får dessutom bättre livslängd (Burke, et al., 2023).

Batterier står för 25-50% av de totala kostnaderna för elektriska fordon (Daniels, et al., 2022; Swapnil & Kalkhambkar, 2021). Enligt Baek, et al. (2020) är det därmed viktigt att identifiera den optimala batteristorleken för fordonets uppdrag för att behålla inkomsterna men minska batteri- och hanteringskostnader vilka ofta är beroende av batteristorleken, tex batterieffekt, åldrande och inköpspris. Det vanligaste sättet att dimensionera är genom att mäta energiförbrukningen för olika rutter och årstider. Mätningarna visar vanligen på en skillnad på cirka 20-30% i energiförbrukning beroende på körhållanden och lutning, vilket kräver att ett buffertbehov på motsvarande procent tas i beaktning vid val av batterier (Burke, et al., 2023). Dessutom bör kapaciteten överdimensioneras med en faktor 1,25 till följd av att batteriet har en begränsad livslängd och därmed kommer få en kortare räckvidd med tiden (Burke, et al., 2023). Batteriet bör inte heller ladda ur helt, utan laddas på cirka 20%, vilket kräver en överdimensionering med motsvarande procentsats. Om topografi inte inkluderas i simuleringen bör energiförbrukningen räknas upp med faktor 1,2. Sammanlagt bör batterier därmed överdimensioneras med en faktor på 1,5–1,8 (Burke, et al., 2023).

3.1.4 Tunga arbetsfordon

En lastbil kan vara utformat på olika sätt och ha olika arbetsuppgifter, vanligtvis genom att ha en specialanpassad påbyggnad såsom exempelvis en kran eller ett komprimatorskåp (Volvo Trucks, 2024). Lastbilar kräver inte bara energi vid transportarbete, det vill säga vid körning, utan även vid användning av påbyggnaden, vilket kallas kraftuttag. Energiförbrukningen vid användning av påbyggnaden beror på en rad faktorer men främst av dess fordonstyp och vikt. Fordonets totala energiförbrukning varierar därmed beroende på vikt på last, fart, accelerationer, inbromsningar, topografi, påbyggnad, drivlina och tilläggsutrustning såsom AC, kupévärmare och kylkapacitet (Teoh, 2022; Uhrdin, et al., 2023).

Avfallstransporter ingår i ett system som kallas 50%-maxsystem eftersom transportefterfrågans egenskaper innebär att fordonet endast kan bära last i en riktning (Lindbom, et al., 2024). För dessa transporter är transporteffektiviteten begränsad. Enligt Lindbom et al., (2024) kommer därmed trafiken från 50-maxsystem att öka vid elektrifiering, då kapaciteten riskerar att

begränsas. För lokala specialfordon (sopbilar, cementblandare, kranbilar etcetera) saknas substitut till lastbil vilket innebär att fordonen själva behöver ersättas med ett likvärdigt elektrifierat fordon (Daniels, et al., 2022).

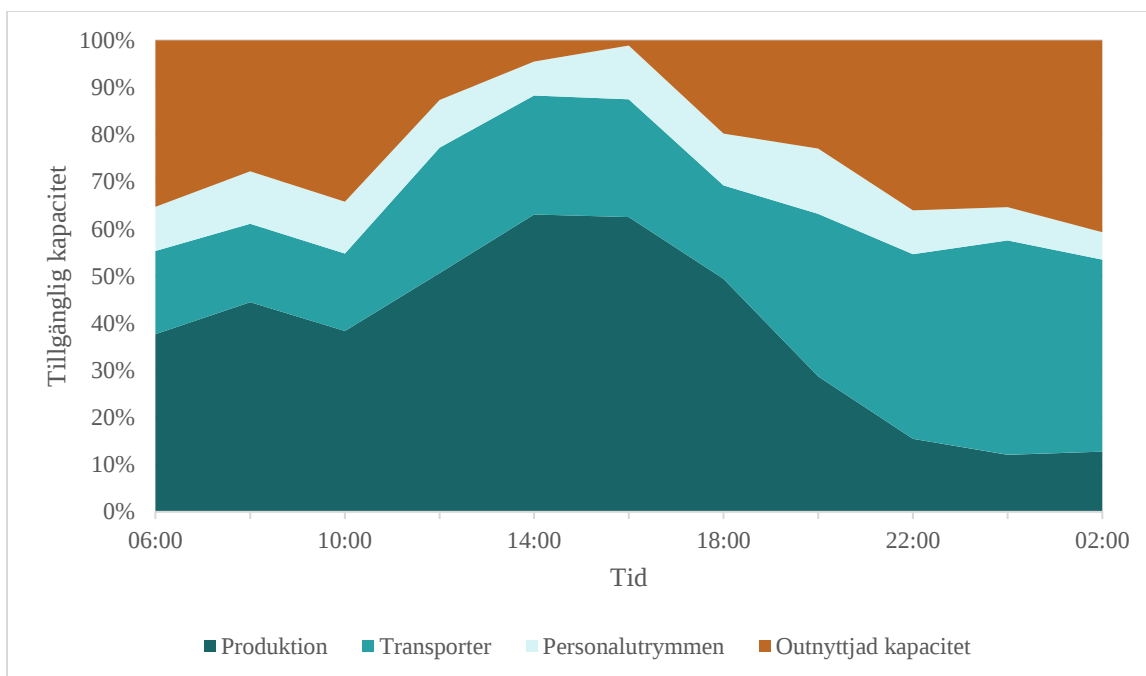
3.2 Laddning

En övergång till elektrifierade lastbilar innebär förändrade förutsättningar av transportsystemet till följd av sämre räckvidd och ett behov av laddstrategier. Det påverkar energiefterfrågan, ökar behovet av laddinfrastruktur och påverkar transportföretags utformning av strategier (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Följande avsnitt beskriver därför kort det svenska elnätet och de laddstandarder som idag finns. Därefter kartläggs dagens laddinfrastruktur, framtida behov samt olika sorters strategier som transportörer kan använda sig av för att minska barriärerna mot en ökad andel elektrifierade lastbilar.

3.2.1 Det svenska elnätet

Det svenska elnätet är indelat i fyra områden och differentieras av varierande mängd produktion och förbrukning av el. Generellt produceras mer el i norra Sverige, samtidigt som mer el förbrukas i södra Sverige (Svenska Kraftnät, 2024). Ett ökat antal väderberoende energikällor och brist på lagringsmöjligheter gör att det krävs en effektbalans i elnätverket som är balans mellan tillförd och nyttjad el. Om balansen inte upprätthålls kan det leda till effektbrist (Energimyndigheten, 2022a; Energimarknadsinspektionen, 2023b). För att upprätthålla en balans transporteras el mellan olika områden på nätverket av ledningar, men när kapaciteten inte räcker till bildas flaskhalsar på ledningarna och priset differentieras därefter (Svenska Kraftnät, 2024; Energimarknadsinspektionen, 2023a). Uppgradering av nätet kommer troligtvis behövas för att klara av laddbehovet från elektrifierade fordon. Whitehead et al. (2022) och Al-Hanahi et al. (2021) resonerar att det bör vara ett samarbete mellan elnätsaktörer och fordonsägare för att skapa den bästa strategin.

Nätpriset är således beroende av företags lokalisering, men även lokala elhandelsaktörer, väderförhållanden och andra företags efterfrågan. Pristariffer kan variera mycket beroende på detta (Basma, et al., 2022; Svenska Kraftnät, 2023). För företag är det lämpligt att göra energikartläggning för att visa hur mycket energi som köps in och vart det används. Detta är relevant att göra för att se vilka delar av verksamheten som har mest påverkan och utifrån detta kunna utforma åtgärder för att balansera och minska energibehovet samt nyttja oförbrukad kapacitet (Energimyndigheten, 2022b; Energimarknadsinspektionen, 2023a; Energimarknadsinspektionen, 2023b). *Figur 13* nedan visar ett exempel på en kartläggning och hur energiförbrukningen varierar över dygnet. En allt för hög energiförbrukning kan kräva uppgradering av nätet och för detta tillkommer extra kostnader (Basma, et al., 2022). Ett alternativ är att nyttja villkorade avtal som innebär att en kund kan få tillgång till högre kapacitet vid tidsperioder då elförbrukning från övriga externa parter är låg (Energimarknadsinspektionen, 2023b).



Figur 13: Energikartläggning av en verksamhet kan visa när det finns ledig outnyttjad kapacitet.

3.2.2 Laddstandarder

Olika typer av teknologier för laddning av elektrifierade fordon har utvecklats, där konduktiv laddning via sladd är vanligt förekommande. För detta är den mest använda standarden en indelning av tre olika typer: typ 1, 2 och 3. En sammanställning av dessa baserat på Khaligh och Dusmez (2012), Al-Hanahi et al. (2021), Whitehead et al. (2022), Sandhya och Nisha (2022) och Kumar et al. (2021) finns i Tabell 2 nedan. Typerna är indelade efter vilken effekt som kan fås där typ 1 är lägst och typ 3 högst. Typ 3 laddare kallas ibland för snabbladdare och återfinns vanligtvis på publika laddstationer (Kumar, et al., 2021).

Tabell 2: Sammanställning av laddstandarden Typ 1, 2 & 3.

	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Strömtyp	Växelström (1 fas)	Växelström (1 & 3 fas)	Likström
Elektrisk spänning (V)	120	230-400	400 och högre
Elektrisk ström (A)	10-16	16-63	63-400
Effekt (kW)	Upp till 2,4	3,7-43	44 och högre
Anläggning	Depå	Depå / publik station	Publik station

Idag är det vanligare med privata långsamma laddare än med publika snabbladdare. Tunga elektrifierade lastbilar har ett behov av laddare med hög effekt (Al-Hanahi, et al., 2021). Företag undersöker även möjligheten till laddare som kan leverera en effekt på 1 MW (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). För att detta ska vara möjligt behöver det säkerställas att det finns tillräckligt

med kapacitet och stabilitet i elnätet samt matchning av tillgång och efterfrågan. Företag med stor fordonsflotta kommer därför behöva göra investeringar för att uppgradera kapaciteten i elnätet (Teoh, 2022).

3.2.3 Laddinfrastruktur och framtida behov

Bristande laddinfrastruktur är en av de största barriärerna mot en ökad andel elektrifierade fordon (Li, et al., 2023) och idag anses laddinfrastrukturen inte vara tillräckligt utbyggd (Teoh, 2022; Lindgren, et al., 2021). Företags potential av att övergå till en större andel elektrifierade fordon är starkt korrelerat av tillgänglighet på laddinfrastruktur och räckvidd på elektrifierade fordon. En begränsad laddinfrastruktur skapar osäkerhet hos transportörer då det anses vara svårare och mer tidskrävande att ladda (Al-Hanahi, et al., 2021; Kumar, et al., 2021). Företags utformning av laddstrategier påverkas kraftigt av den laddinfrastruktur som finns (Teoh, 2022). Genom en utökad möjlighet att nyttja semi-publik laddning kan begränsningar i räckvidd minskas (Lindgren, et al., 2021).

Shoman et al. (2023) resonerar att nuvarande laddinfrastruktur inte är tillräcklig på grund av att elektrifierade lastbilar kräver en högre effekt vid laddning än vad personbilar gör. Det kompletteras av Borlaug et al. (2022) som påstår att det finns ett större behov av snabbaddande publika laddstationer, något som går i linje med Teoh (2022) som påstår att oftast används långsam laddning på depå över natten, och dagtid efterfrågas snabbaddning på publika stationer.

Laddhastigheten begränsas av en begränsad kapacitet på laddnätet vilket påverkar vilken laddstrategi som är lämplig. En begränsad laddhastighet tvingar transportörer till laddning flera gånger per dag ute på rutterna. Hur många gånger ett elektrifierat fordon måste laddas beror på distans, uppskattad räckvidd och laddhastigheten på laddinfrastruktur (Al-Hanahi, et al., 2021). Idag upplever många chaufförer ångest över den korta räckvidden och behovet av att extraladda (Teoh, 2022).

Framtida behov

EU har infört den nya lagen ”Alternative Fuel Infrastructure Regulation” (AFIR) för att öka antalet laddstationer i Europa. Lagen har bland annat krav på att det senast år 2030 ska finnas laddstationer för tunga fordon på minst 350kW var 60:e kilometer utmed det transeuropeiska transportnätet (European Council, 2023).

Borlaug et al. (2022) konstaterar att långsam laddning efter arbetstid i framtiden kan stå för en stor del av det totala energibehovet för fordon som kör lokala, regionala såväl som långväga flöden. Däremot är det nödvändigt för fordon som kör långväga flöden att ladda under arbetstid och då krävs snabbaddning i högre grad. Shoman et al. (2023) konstaterar att det kommer finnas ett behov av att ha fyra till fem gånger så många depåladdare som publika snabbaddare. Lindgren et al. (2021) instämmer och menar att majoriteten av fordon i framtiden kommer att nyttja depåladdning i hög grad.

Den svenska regeringen har bedömt att utbyggnad av laddinfrastruktur bör göras så att det inte hindrar transportaktörer från att elektrifiera sin fordonsflotta (Lindgren, et al., 2021). Dock konstateras att dagens laddinfrastruktur är bristande och behöver byggas ut ytterligare (Teoh, 2022; Lindgren, et al., 2021). Däremot resonerar Uhrdin et al. (2023) att det finns risker i att genomföra allt för stor utbyggnad av laddnätverket på en gång, eftersom framtiden kommer innebära nya tekniker. Investeringar i laddinfrastruktur innebär osäkerhet då det är svårt att skatta framtida laddbehov vilket kan innebära överkapacitet eller behov av ytterligare investeringar, något som gör det dyrt i längden (Uhrdin, et al., 2023).

Statliga bidrag och initiativ är kritiska för att uppnå en ökad utbyggnad av laddinfrastrukturen. Detta då snabbbladdare har en utmanande kalkyl med höga investeringskostnader och låg beläggningsgrad (Dimanchev, et al., 2023). För att hantera osäkerheter kring investeringar i laddinfrastruktur är det fördelaktigt att bygga laddmöjligheter där det är känt vilka fordon och maskiner som kan dela på laddpunkterna och hur deras behov ser ut, exempelvis på depå (Uhrdin, et al., 2023).

Al-Hanahi et al. (2021) motiverar att laddning på publika stationer i framtiden borde schemaläggas. För att skapa ett optimalt schema bör hänsyn tas till den maximala tid som vardera fordon får ladda samt hur långa köer som uppstår vid stationen. Likaså resonerar Teoh (2022) att verkstäder för reparationer och underhåll i framtiden behöver anpassas för att kunna arbeta med elektrifierade fordon.

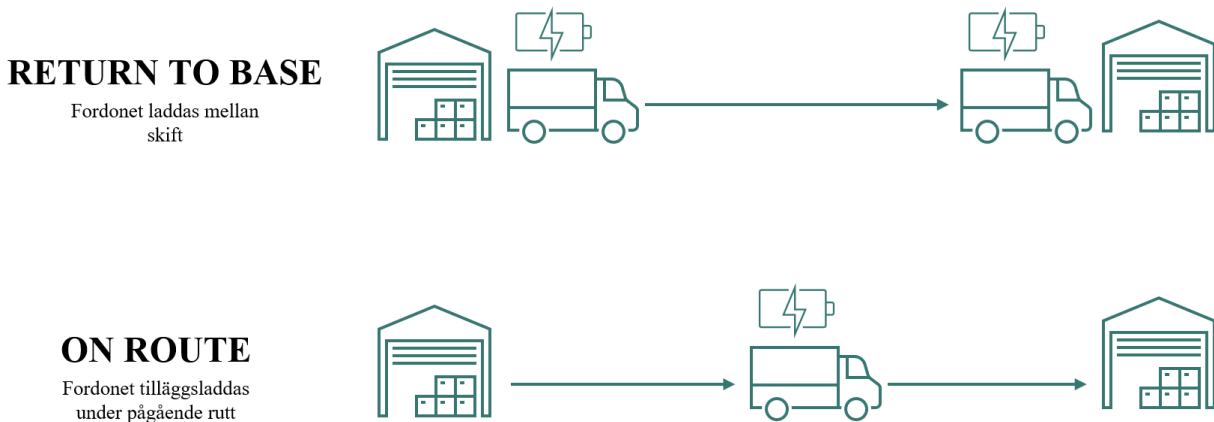
3.2.4 Laddstrategier

Det finns idag många olika laddstrategier att överväga, men de skapar nödvändigtvis inte ett kompatibelt nätverk med varandra (Teoh, 2022). Det går att ladda hemma, på depå, vid uppnådd destination eller på vägen och det finns olika ägandekonstellationer av dessa. Dessutom går det att variera när under dygnet som laddningen sker. Till exempel går det att ladda på natten, snabbbladda under en rutt eller mellan rutter (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022).

Laddbehovet för fordon varierar och påverkas av daglig körd sträcka, kraftuttag, lastvikt, geografiska distanser och scheman (Al-Hanahi, et al., 2021). Utan lämplig och väl utformad laddstrategi finns risk för behov av utökad fordonsflotta, utökade arbetsscheman och en reduktion av utförda uppdrag. Detta kan även påverka lönsamheten av att använda sig av elektrifierade fordon (Teoh, 2022). Ofta tillämpas prissättning efter vilken tid på dygnet som laddning sker och kostnaderna för att ladda ökar när efterfrågan är hög. Det gör att det blir kostsamt när fordonen ska laddas på publika laddstationer, under lunchen, mellan två skift eller efter skift (Al-Hanahi, et al., 2021; Basma, et al., 2022).

Teoh (2022) beskriver att laddstrategier kan utformas som *schedule based* och *trigger based*. En *schedule based* laddstrategi innebär att laddstopp planeras in i det dagliga schemat och plats samt tidpunkt för laddning är förutbestämt. Oftast är det återkommande rutter. Schemat optimeras oftast mot att minska kostnader och tid (Teoh, 2022). En *trigger based* laddstrategi innebär att

föraren själv bestämmer sig för att det är dags för laddning utifrån olika villkor såsom att exempelvis en för låg batterinivå är uppnådd. Det gör att föraren själv utformar en strategi för att hitta lämplig laddstation och ladda vid denna. Genom att använda denna strategi kan kostnader för planering i förhand minska, samtidigt som sub-optimeringar kan undvikas (Teoh, 2022). Al-Hanahi (2021) beskriver två huvudsakliga laddstrategier: *return to base* och *on route*, (*Figur 14*), vilka beskrivs i avsnitten nedan.



Figur 14: Visualisering av laddstrategierna "return to base" samt "on route".

Return to base

Return to base innebär att laddplatser är installerade på företagets egen anläggning och att fordonet återvänder till anläggningen för att ladda utanför arbetstimmar. Det kan exempelvis vara under natten eller mellan skift (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Att ladda utanför arbetstid medför fördelar såsom att lägre laddhastighet kan användas, kostnader för laddning blir lägre samt att en högre operativ effektivitet kan uppnås (Borlaug, et al., 2022). Denna metod är den vanligaste metoden att använda sig av och är *schedule based* (Teoh, 2022; Whitehead, et al., 2022). Många företag är idag beroende av *return to base* strategin på grund av den bristfälliga laddinfrastrukturen (Al-Hanahi, et al., 2022).

Return to base strategin ställer höga krav på att batterierna ska klara av en hel dags rutt utan att tvivel kring räckvidden uppstår. Denna laddstrategi är dock en metod som kan påverka batteriets hälsa negativt om batterierna dagligen laddas upp till fullt och sedan nyttjas så att batterinivåerna går ner till mycket låga nivåer. Detta kan leda till försämrad livslängd samt minskad räckvidd per daglig användning vilket i sin tur skapar räckviddsångest hos användare (Al-Hanahi, et al., 2021).

Att endast ladda fordonen en gång per dag ökar behovet av att ha större och kraftfullare batterier så att fordonen klarar av de dagliga uppgifterna (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Då större batterier är tyngre och begränsar lastvikten skapas ett behov av att avgöra vad som är optimal

batteristorlek och vilka möjligheter till laddning som uppstår under rutten (Al-Hanahi, et al., 2021). Batterikapaciteten bör minimeras så länge det inte påverkar den operativa prestandan (Teoh, 2022). Fordon som endast går korta distanser och inte behöver stora batterier anses vara mest lämpliga för att enbart ladda via strategin *return-to-base* (Whitehead, et al., 2022).

Behovet av större batterier ställer sedan krav på att ha en kapacitet att få ut hög effekt för att kunna ladda fordonen inom önskad tid. När en större grad av fordonsflottan är elektrifierad kommer det uppstå toppar i effektefterfrågan som sätter krav på elnätverket. Elnätverket kommer i framtiden behöva uppgraderas för att antalet elektrifierade fordon i en flotta ska kunna öka och för att de ska kunna laddas samtidigt. Kostnaden och tiden för att genomföra detta kan dock vara något som förhindrar många företag från att övergå till en fordonsflotta med högre andel elektrifierade fordon (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022).

Hänsyn till när toppar i elbehov uppstår kan kartläggas och bör tas hänsyn till i planeringen av laddning på depå för att minska kostnader (Li, et al., 2023). Extra kostnader uppstår när efterfrågan på el är som högst, så kallade effekteppor. Kostnader varierar i olika regioner, tid på dygnet och årstider. Genom att ladda fordonen utanför arbetstimmar kan det undvikas att toppar i fordonsladdning och toppar i industriell produktion inträffar samtidigt (Al-Hanahi, et al., 2021). Enligt en studie gjort av Al-Hanahi (2022) uppstår ofta toppar vid depåladdning när fordonen anländer efter de dagliga rutterna. Det finns metoder för smart laddning som gör att kostnader kan minskas och toppar undvikas. Ett smart laddsystem kan optimera och sprida ut laddningen över natten och fordonsflottan. Detta är något som kan underlätta och uppmuntra till uppskalning av elektrifierade fordon (Al-Hanahi, et al., 2022; Kumar, et al., 2021; Sandhya & Nisha, 2022).

För att spara investeringskostnader kan samma laddplats användas till flera fordon. Att flera fordon delar på en laddplats kräver dock planering så att det inte påverkar schemat för hur fordonen ska köras när de är i bruk och att fordonen hinner att ladda tillräckligt för att klara av sina dagliga uppdrag. Det finns även möjlighet att nyttja att vissa fordon inte alltid är i behov av att ladda fullt för att klara av sina dagliga uppdrag (Al-Hanahi, et al., 2021). Genom att installera snabbaddare på depåer kan samma laddare nyttjas till flera fordon per natt (Whitehead, et al., 2022). Ofta används dock långsamma laddare på depåer och detta kan således begränsa möjligheten för fordon att dela laddplatser. Andra metoder för *on route* gör det enklare att dela laddplatser och således få en ökad nyttjandegrad av respektive laddplats (Teoh, 2022). Nedan följer en beskrivning av laddstrategin *on route*.

On route

Laddning *on route* syftar till laddning som sker under en rutt och kan vara på stopp som görs på de destinationer som finns inplanerade i rutten (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022; Whitehead, et al., 2022). Detta kan utformas på olika sätt och kan vara både *schedule based* och *trigger based* (Teoh, 2022). Denna metod kan vara nödvändig vid förändringar i de planerade rutterna, för att minska behovet för företag att investera i laddplatser på sin egen anläggning eller för att

kunna öka effektiviteten och nyttjandegraden av respektive fordon (Al-Hanahi, et al., 2021). Likaså är metoden mer vanligt förekommande vid långväga transporter (Whitehead, et al., 2022).

Strategin *on route* ställer krav på planering och utformning av scheman (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Många rutter är idag begränsade av att fordonet ska befinna sig på en viss plats vid en specifik tid. Ruttplaneringen bör sträva efter att uppnå höga nyttjandegrader samt att laddning ska infalla i samband med chaufförens rast (Al-Hanahi, et al., 2021). Fordon med en elektrifierad drivlina gör även att avvikelser från den optimala ruten måste göras för att finna lämplig laddstation (Al-Hanahi, et al., 2021; Whitehead, et al., 2022). Dessutom spelar fordonets dimensioner roll, då vägen till området och parkeringen intill laddstationen måste vara kompatibel med större fordon (Teoh, 2022). Detta innebär att laddning är ett moment som förskjuter de inplanerade aktiviteterna och minskar den operativa effektiviteten. Detta kan minskas genom att förare utför parallella aktiviteter under tiden som fordonet laddas (Teoh, 2022). Semi-publika laddstationer kan även möjliggöra att fordon kan laddas när inget transportarbete sker och chauffören utför andra aktiviteter, exempelvis när fordonet står vid terminaler (Lindgren, et al., 2021)

Lagar kring hur många timmar per dag en chaufför får arbeta och hur långa raster och dygnsvilor som krävs försvårar laddning *on route*. Detta gör även att användningen av laddnätverket ökar under särskilda tider på dygnet vilket ökar kapacitetsbehovet och kostnader samt minskar nyttjandegraden per laddplats då det behövs fler laddplatser vid varje anläggning (Al-Hanahi, et al., 2021). Genom att nyttja semi-publika laddstationer i högre utsträckning kan fordonet tilläggladdas under inplanerade stopp på ruten, högre belägningsgrad på laddplatser fås och toppar i elförbrukning kan undvikas (Lindgren, et al., 2021).

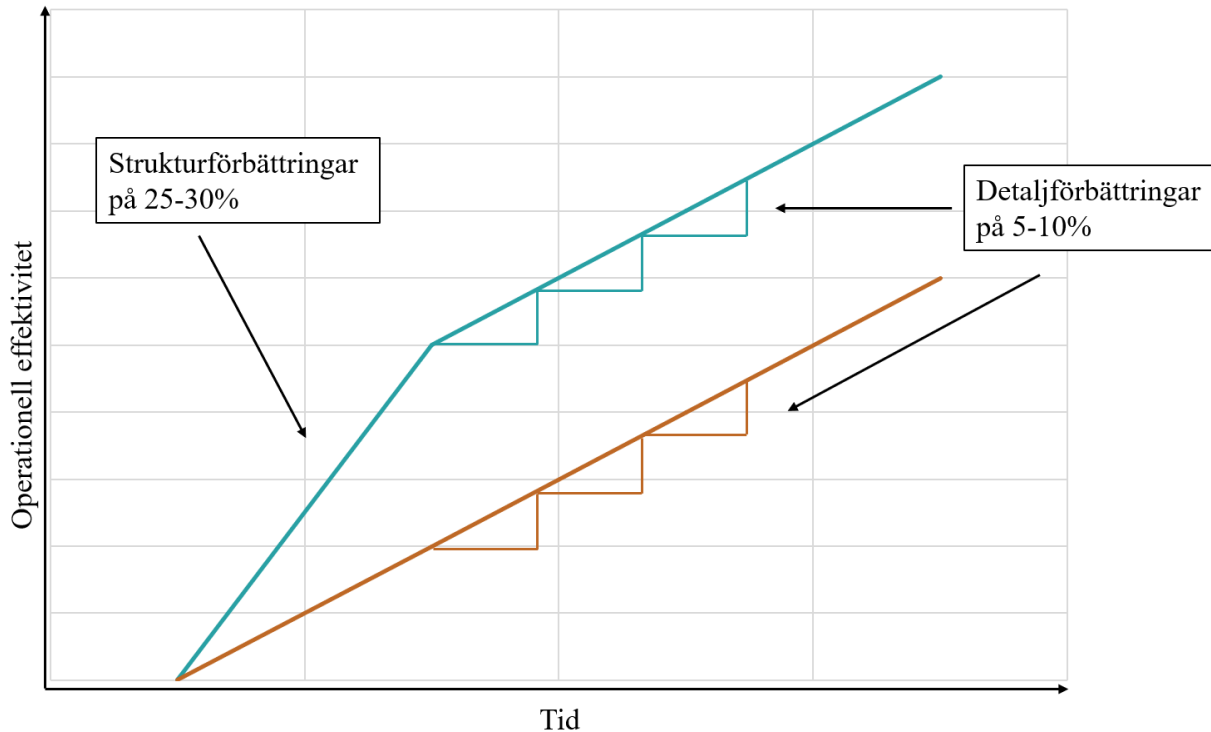
Laddstationernas kapacitet är idag något som begränsar *on route* laddning (Al-Hanahi, et al., 2021). Det är önskvärt med snabbladdning vid publika laddstationer för att minska tiden för stillestånd under laddning (Teoh, 2022; Whitehead, et al., 2022). Aktörer som investerar i laddstationer vill även uppnå höga nyttjandegrader av laddplatserna för att göra det ekonomiskt försvarbart för aktörerna att investera i dessa. Då efterfrågan av att nyttja publika laddnätverk ökar under vissa tider på dagen (Al-Hanahi, et al., 2021; Whitehead, et al., 2022) finns en risk att alla laddplatser är upptagna när fordon ska laddas. Det gör att chaufförerna måste lägga tid på köande och minskar den operativa effektiviteten. Informationstjänster som redogör för om laddstationen är tillgänglig underlättar dessa situationer (Teoh, 2022). Att tillämpa dubbla skift skulle kunna vara en annan lösning (Al-Hanahi, et al., 2021). Depåladdare har ofta en låg nyttjandegrad dagtid och skulle även kunna nyttjas dagtid i högre grad (Teoh, 2022).

Genom att tillåta *trigger based* spontan laddning kan förare själva optimera ruten utifrån dess karakteristik och egen kunskap. Då det kan uppkomma avvikelser från planerad rutt såsom köer eller påtvingade extra körsträckor är det riskabelt att endast förlita sig på den förplanerade ruten (Teoh, 2022). Teoh (2022) definierar även en laddstrategi för nödsituationer. Detta är en *trigger based* och *on route* strategi som kan tas i bruk om vissa villkor uppnås såsom om en viss

batterinivå understigs. Denna batterinivå sätts utifrån distans till närmsta laddstation så att fordonet alltid ska kunna ta sig till en laddstation vid behov. Om det inte är möjligt att ta sig till en laddstation finns vägassistans med mobila laddenheter, men det är ingen strategi som är rekommenderad av Teoh (2022).

3.3 Utformning av ett elektrifierat logistiksystem

Cabukoglu (2018) har konstaterat genom en studie med 6 500 tunga fordon att med nuvarande system och förutsättningar kan enbart 12% av fordonen elektrifieras, vilket enbart reducerar CO₂-utsläppen med 2%. Författarna konstaterar dock att en CO₂-reduktion på 90%, till följd av 95% elektrifierade fordon, är möjligt om lagar ändras och nya logistiksystem utformas med fokus på elektrifiering. Magnusson et al. (2020) konstaterar att inkrementella detaljförbättringar inte är tillräckligt för att genomföra hållbara förändringar i tid. Istället krävs radikala omstrukturerande förändringar i ett tidigt stadie för att uppnå resultat. Detta stärks av Abrahamsson och Aronsson (1999) som också konstaterar att radikala omstruktureringar initialt ger kraftiga förbättringar på upp till 25-30%. Vidare förbättringsåtgärder kan sedan ge inkrementella förbättringar på runt 5-10%, men de initiala mer radikala omstruktureringarna är en viktig del i att snabbt kunna skala upp och förbättra systemet. Detta kan visualiseras som i Figur 15 nedan där den operationella effektiviteten kraftigt förbättrats om initiala radikala förändringar gjorts.



Figur 15: Visualisering baserad på Abrahamsson och Aronsson (1999) över uppnådd operationell effektivitet utifrån olika alternativ på förändringar.

En annan viktig aspekt för övergången mot nya teknologier är politiska och lokala initiativ, lagar och pilotprojekt. Detta då det kan ses som ett startskott som tvingar fram behov av resursfördelning, innovation och regleringar (Al-Hanahi, et al., 2021; Magnusson, et al., 2020). Detta är något som Al-Hanahi, et al., (2021) konstaterar har gjort att antalet elektrifierade fordon ökat historiskt sett. Skapandet av policys måste involvera flera olika aktörer och element för att effektivt påverka omställningen. Bland annat genom investeringsbidrag, ändring av strategi hos regionala transportaktörer och införandet av emissionsfria zoner (Magnusson & Berggren, 2017).

Perotti et al. (2012) förklarar att det för en grön logistik krävs att logistiksystemets komponenter designas om för att högre miljömässig effektivitet ska kunna erhållas. I ett system finns aktiviteter, resurser och aktörer vilket skapar en komplexitet som innebär att alla systemets delar måste förstås innan förändringar i en delkomponent kan genomföras (Björklund, 2018). Utformning av ett logistiksystem inkluderar bland annat beslut rörande lokalisering, bränslen, fordon, planering, samverkan och konsolidering. Alternativa bränslen, exempelvis användandet av elektriska fordon är därmed en viktig komponent i utformningen av ett grönt logistiksystem (Martinsen & Huge-Brodin, 2014; Jazairy, 2020; Colicchia, et al., 2013; Haag, et al., 2024).

Att förändra logistiksystemets design innebär bland annat att se över antalet noder och länkar, samt dess längd (Martinsen & Huge-Brodin, 2014). Genom logistiksystemets design finns potential att påverka hur flexibelt ett logistiksystem är, genom exempelvis förhållningssätt till

ledtider och leveranstid. För att utforma ett grönt logistiksystem krävs ett brett synsätt där fler aktörer involveras i designen än vad som görs i ett traditionellt system (Sarkis, et al., 2004).

För att möjliggöra elektrifiering av tunga transporter har Uhrdin et al. (2023) identifierat några viktiga aspekter vilka bör inkluderas i planeringen för elektrifiering, bland annat **operativ** och **långsiktig planering**. Det kompletteras av Simm (2021) som identifierar **eco-driving** och **transportrelaterade aktiviteter** som viktiga komponenter i utformning av ett grönt logistiksystem. Då den teknologiska utvecklingen går i hög hastighet behövs förmågan att hantera den ökade osäkerheten som följer med elektrifieringen (Lindbom, et al., 2024). I det nya elektrifierade logistiksystemet förändras även aktörernas roller när förutsättningarna ändras (Lindbom, et al., 2024), därmed är det relevant att belysa olika **roller i logistiksystemet**. Lindbom et al. (2024) beskriver även data som en tillgång vilken behöver användas i högre utsträckning vid elektrifiering. Därmed uppstår behovet av en litteraturstudie av **datadelning** i samband med utformning av ett elektrifierat logistiksystem. Ovan nämnda delar följer i avsnitten nedan.

3.3.1 Operativ planering

Optimering av flottans uppdrag är kritisk till följd av den begränsade energin som finns att tillgå hos fulladdade lastbilar (Zhao, et al., 2021). I den operativa planeringen bör laddningstiden inkluderas för elektrifierade lastbilar (Speth & Funke, 2021). Därmed blir digitala system för exempelvis optimering allt viktigare eftersom den komplexa planeringen behöver inkludera effekttillgång och elpriser (Uhrdin, et al., 2023; CLOSER, 2022). Traditionella system inkluderar dock inte räckvidd i modellen (Chen, et al., 2020). Det krävs därmed en utveckling för att balansera beräkningstiden och lösningens optimalitet, då många av de komplexa algoritmer som finns idag är tidskrävande och därmed inte inkluderas i IT-systemen (Zhao, et al., 2021). Det är just nu ett stort forskningsområde med så kallade "Electric vehicle routing problem" (E-VRP) (Zhao, et al., 2021), med det finns fortfarande delar där det ännu saknas forskning (Yang, et al., 2021).

Till dess att digitala system är tillräckligt utvecklade för att ta hänsyn till de förändrade förutsättningar är det upp till den dagliga planeringen, både transportplaneringsavdelningen och chaufförerna att säkerställa att uppdragen genomförs trots den begränsande räckvidden. Lastbilar som kör kortare sträckor ses som extra lämpliga att elektrifieras, då dessa i lägre utsträckning påverkas av den begränsande räckvidden (Whitehead, et al., 2022). Magnusson, et al., (2020) instämmer och menar att fasta ruttor och begränsade geografiska areor gynnar elektrifiering eftersom förutsägbarhet förenklar planeringen. Genom att kartlägga nuvarande körkaraktäristik och dela in de olika fordonen i kategorier, exempelvis stadsdistribution, regional trafik och fjärrtransporter, kan en förståelse för vilka transporter som är lämpliga att elektrifiera erhållas (Karlström, 2020). Det är även enklare för större åkerier att ersätta enskilda lastbilar redan idag trots att alla förutsättningar inte är på plats, eftersom dessa har större variation i uppdragen och kan välja att tilldela elektrifierade lastbilar de uppdrag som de är bäst lämpade för (Lindbom, et

al., 2024). Fordon som kan ha flera användningsområden och utföra uppdrag åt olika kunder bygger in flexibilitet (Uhrdin, et al., 2023).

Osäkerhet till följd av den snabba teknikutvecklingen ställer större krav på flexibilitet (Lindbom, et al., 2024). Elektrifierade lastbilar har lägre flexibilitet än dieseldrivna lastbilar till följd av den begränsade räckvidden och den begränsade laddinfrastrukturen (Speth & Funke, 2021). För att möjliggöra att fler uppdrag kan genomföras med elektrifierade lastbilar bör systemet utformas med fokus på att minska flexibilitetshämmande aktiviteter och processer. Tidsfönster för hämtningar eller leveranser är en stor begränsning vid optimering av rutt (Zhao, et al., 2021). Även krav på korta ledtider försvårar ett miljövänligt transportsätt (Björklund, 2011). Till följd av detta bör transportörer arbeta med sina transportköpare för att minska kravet på fasta tidsfönster och därmed öka flexibiliteten i transportsystemet. Genom att använda sig av realtidsdata kan även kontrollen öka vilket möjliggör snabb revidering av ursprungsplaneringen och kommunikation till mottagare och avsändare (Lindbom, et al., 2024).

Dessutom bör nyttjandegraden för elektrifierade lastbilar vara högre till följd av kostnadsstrukturen med högre investeringskostnader och lägre rörliga kostnader, något som kan möjliggöras genom nattskift (Lindbom, et al., 2024; Näsström & Hasselgren, 2021).

Nattleveranser

Leveranser kan ske på kvällstid eller under nattetid (Holguín-Veras, et al., 2017) och den främsta motiveringen till det är att trafikflödet vanligtvis är lägre under dessa tider och flaskhalsar, främst i stadskärnan, kan undvikas (Holguín-Veras, et al., 2017; Eriksson, et al., 2023). Resultatet av detta blir effektivare transporter till följd av mindre trängsel och köer, vilket ger en bättre arbetsmiljö för chauffören då stressnivån kan upplevas lägre (Lindbom, et al., 2024). Dessutom kan en lägre energiförbrukning för rutten erhållas (Pernestål Brenden, et al., 2017).

Då elektrifierade fordon är tystare än fordon med förbränningsmotorer går det att nyttja för nattleveranser (Whitehead, et al., 2022; Pernestål Brenden, et al., 2017; Lindbom, et al., 2024) vilket kan öka nyttjandegraden. Dock bör hänsyn tas till arbetet som utförs vid stopp, då aktiviteter som lastning och lossning kan ge upphov till störande ljud (Pernestål Brenden, et al., 2017). Enligt CLOSER (2022) upplevs den tystare miljön även som positiva effekter för chaufförerna, något som Lindbom et al. (2024) stärker. En ökad nyttjandegrad genom nattleveranser innebär dock kortare ställtid för lastbilarna, vilket påverkar utformningen av laddstrategier (Uhrdin, et al., 2023).

För att nattleveranser ska vara möjligt bör kundernas placering vara strategiskt passande, så att boenden inte störs av arbetet samt att uppdraget kan genomföras utan att personal behöver vara på plats (Eriksson, et al., 2023; Pernestål Brenden, et al., 2017). Oassisterade nattleveranser innebär att chauffören får tillträde till godset i kundens lokaler utan att dess personal finns tillgänglig på platsen (Holguín-Veras, et al., 2017). Det kan möjliggöras genom automatiserade mottagningar med smarta lås, vilka kan öppnas av chauffören även nattetid (Lindbom, et al.,

2024). Dessutom finns möjligheter att leverera inomhus och i emissionsfria zoner med en elektrifierad lastbil (CLOSER, 2022; Lindbom, et al., 2024). Emissionsfria zoner, även kallat miljözon 3 diskuteras dock enbart i större städer (Stockholm & Göteborg) i dagsläget (Lindbom, et al., 2024).

3.3.2 Eco-driving

Eco-driving kan även kallas sparsam körning och kan sänka energiförbrukningen av ett fordon genom anpassade förarbeteenden (Martinsen & Huge-Brodin, 2014; Craig & Stanton, 2018). Det kan innebära sänkt hastighet, val av rutt, val av fordon, tankning och enkelt underhåll för att begränsa energiförbrukningen (Martinsen & Huge-Brodin, 2014; Craig & Stanton, 2018). Beroende på hur fordonet framförs krävs olika mycket energi (Martinsen & Huge-Brodin, 2014). Effekterna av eco-driving kan vara relativt stora med tanke på hur enkelt det är att påverka (Craig & Stanton, 2018). En hastighet på 80 km/h i stället för 90km/h kan leda till att cirka 12% mindre energi krävs, något som kan öka räckvidden (Craig & Stanton, 2018). Att se över förarbeteende är därmed extra viktigt vid elektrifiering för att öka räckvidden per laddning. Möjligheten till eco-driving påverkas negativt om chauffören har leveransfönster att förhålla sig till (Björklund, 2018) då det kan påverka chaufförens möjlighet att begränsa hastigheten. Mycket av ansvaret för eco-driving ligger på chauffören, men systemstöd kan underlätta (Björklund, 2018). Dessutom bidrar utbildning och uppföljning till ett bättre resultat (Craig & Stanton, 2018).

3.3.3 Transportrelaterade aktiviteter

Transportrelaterade aktiviteter, bland annat lastning och lossning med tillhörande planering, har utformats för att göra flödena smidigare utifrån förutsättningarna för dieseldrivna fordon. Elektrifiering medför nya möjligheter och barriärer som bör hanteras, vilket innebär förändrade förutsättningar för flertalet transportprocesser (Uhrdin, et al., 2023).

En transportrelaterad aktivitet kan vara underhåll av fordonet, något som för dieseldrivna lastbilar vanligen genomförs i slutet av ett arbetsskift. Denna rutin kan ses över för att möjliggöra att visst underhåll kan genomföras under tiden lastbilen laddar (Teoh, 2022; Nåbo, et al., 2023). Fordon med ny teknologi kräver ett nytt kunskapsbehov kring underhåll samt utbildning kring nya säkerhetsföreskrifter (CLOSER, 2022).

3.3.4 Långsiktig planering

Långsiktig planering är värdefullt för att säkerställa att den dagliga verksamheten inte äventyras (Uhrdin, et al., 2023; Lindbom, et al., 2024). Det finns risker med att införa elektrifiering utifrån dagens förutsättningar utan att ta med framtida förändringar i beräkningen. För att hantera detta krävs långsiktig och noggrann planering så logistiksystemet inte optimeras utefter nuläget utan även inkluderar framtida scenarion och att utfasning av dieseldrivna fordon görs på ett hållbart sätt. Den snabba teknikutvecklingen bidrar till utmaningar i den långsiktiga planeringen (Lindbom, et al., 2024). Utbildning av personal samt att säkerställa att rätt kompetens finns som resurs bör inkluderas i den långsiktiga planen för elektrifiering för att inte framstå som ett hinder

(CLOSER, 2022). Det stärks av Lindbom et al. (2024) vilka förklarar att aktörer behöver ha en beredskap för att hantera den snabba teknikutvecklingen.

Då utbyggnad av elnätet tar tid, är ett första steg vid implementering av elektrifierade transporter att initiera dialog med nätverksoperatören för att säkerställa effekt och utbyggnad av det lokala elnätet (Axberg, et al., 2020). Efter det kan ett arbete med det interna elnätet startas, vilket inkluderar både investeringar och förberedelser samt genomförande av utbyggnaden av det lokala nätverket. Detta bör göras kontinuerligt allt eftersom behovet växer. Utbyggnaden kan även kräva eventuella stödfunktioner så som batterilagring, smarta system och solceller för att kunna undvika effekttoppar (Uhrdin, et al., 2023).

Logistiksystemets robusthet bör ses över när det designas på nytt, till följd av de nya förutsättningarna. Där blir prisosäkerheten viktig att ta hänsyn till för att minska risken att bygga in sig i ett system som inte är lönsamt över tid (Lindbom, et al., 2024). Det behövs därför ny kunskap om teknikskiften och utvecklingstrender för att hantera hinder och nyttja möjligheter i omställningsprocessen (Lindbom, et al., 2024).

3.3.5 Roller i logistiksystemet

Aktörens roll i logistiksystemet påverkar dess möjlighet till samverkan och påverkan. För att förstå för vem förutsättningarna förändras är det bra att initialt identifiera aktörer och dess roller i logistiksystemet (Uhrdin, et al., 2023).

För dieseldrivna transporter finns etablerade aktörer med tydlig ansvarsfördelning till följd av diesellastbilens långa dominans på marknaden (Uhrdin, et al., 2023). Transportören kan vara både ett logistikbolag som drar nytta av stordriftsfördelar eller transportutövare, dvs ett åkeri eller en åkare, något som bör specificeras vid analys av ett specifikt ekosystem då dessa skiljer sig åt (Uhrdin, et al., 2023). Till följd av att transportbehovet ägs av transportköparen är det viktigt att transportköparen tar steget och vågar välja hållbara transportalternativ och dessutom är villiga att betala för dem (Uhrdin, et al., 2023). Transportköparens icke-miljömässiga krav kan enligt Björklund (2011) beskrivas som ett stort hinder, men om kunden ställer miljökrav är det en stor möjliggörare för hållbart transportalternativ. Trots den historiskt begränsade marknadsefterfrågan på elektrifierade transporter ser Nåbo, et al. (2024) positivt på efterfrågan på elektrifierade lastbilar, och skattar att denna kommer öka kommande åren till följd av att transportköpare ställer allt högre krav. Genom relationer som transportköpare skapar med transportörer ökar möjligheterna att skapa ett grönt logistiksystem (Zhu, et al., 2008; Vachon & Klassen, 2006). Kunden till transportköparen ha även direkt inverkan på hur företag köper in transporter, vilket även stärker att transportköparens kund påverkar val av transport (Björklund, 2011).

Transportören spelar en viktig roll i ekosystemet, eftersom de är direkt knutna till de aktiviteter och utrustning som skapar negativ miljöpåverkan. Även transportören kan påverka transportköparens inköpsbeteende genom att bland annat dela kunskap, ambitioner och

utrustning eftersom transportköparens brist på kunskap och kompetens annars kan beskrivas som ett hinder för miljömedvetna transportinköp (Björklund, 2011). Rollerna förändras i det framtida logistiksystemet och större krav på samverkan ställs för att ta vara på möjligheterna med elektrifiering (Lindbom, et al., 2024).

Maktbalans

Makt är alltid relativt och förändras i olika kontext, därför bör makt studeras i det specifika kontext som det uppstår i (Cox, et al., 2002; Stannack, 1995). Förmågan att påverka andra aktörer i logistiksystemet bygger på maktposition som grundar sig i ett beroende mellan aktörer (Cox, et al., 2002).

I relationen mellan transportör och transportköpare är den största makten tilldelad transportköparen. Desto närmare transportköparen är konsumenten desto starkare blir transportköparens makt (Kähkönen, & Lintukangas, 2010). I den snabba teknikutvecklingen blir dock kunskapsbaserad makt allt viktigare, något som indikerar på att transportörens makt kan öka om den erhåller kunskap om teknikutvecklingen (Martinsen, 2014). En förskjutning i maktbalansen kan innebära att transportköparen får större operativt ansvar eller ökad insyn i planering och uppföljning av driften (Haag, et al., 2024).

För att förstå vilka förändringar i logistiksystemet som är möjligt krävs interaktion mellan aktörer. Interaktion kan agera förutsättningsskapande, genom att möjliggöra exempelvis dyrare inköp genom att tillämpa längre kontraktstider (Simm, 2024). Kunskapsdelning ses som en möjliggörare för gröna logistiksystem, speciellt vid införandet av alternativa bränslen. Dessutom bedöms tekniska resurser, finansiella resurser och anställda som nyckelresurser för alternativa bränslen (Simm, 2024). Kunskap om exempelvis logistiksystemet, finansiella- och tekniska resurser såsom lastbilar och terminaler antas finnas hos logistikleverantören i varierande utsträckning. Transportköparen antas erhålla kunskap om exempelvis kundbasen och finansiella resurser (Simm, 2024). Även IT-system som exempelvis kan delas mellan logistikföretag och speditör är ett exempel på resurs som kan delas och bör ses som en nyckelresurs (Wolf & Seuring, 2010). Simm (2024) förklarar även att mätetal och feedback kan vara exempel på resursdelning.

3.3.6 Datadelning

Enligt Lindbom et al. (2024) är data en tillgång som behöver användas i högre utsträckning då det kan skapa hög nytta i transportsystemet. Faktabaserade beslut får en större vikt till följd av osäkerheterna kring teknikutveckling och dyra investeringar. Detta möjliggörs genom att fordon som säljs under de kommande åren förväntas vara uppkopplade och utrustade med fler sensorer, radars och kameror (Lindbom, et al., 2024). Digitala tjänster kan användas direkt i fordonen som förarstöd gällande eco-driving eller för analys inför beslutsfattande (Lindbom, et al., 2024). Uppkopplade fordon kan även möjliggöra kommunikation mellan fordonen och laddstationer för att säkerställa tillgänglighet och estimerar laddningstiden. Dock saknas idag den digitala infrastruktur som krävs för att hantera och analysera den mängd data som skulle erhållas om

samtliga laddstationer och fordon kopplades upp mot varandra (Lindbom, et al., 2024). Även överenskomna kommunikationssätt saknas (Lindbom, et al., 2024). Haag et al. (2024) identifierar digital informationsförsörjning som ett av de potentiella problemområdena där teknikutvecklingen inte har hängtt med.

Nåbo et al. (2023) har identifierat tre viktiga punkter gällande vilken information som är viktig att kunna dela vid laddning. Dessa är:

- Laddprislista med aktuellt och framtida elpris bör delas med transportören så laddning kan planeras när elpriset är lågt. Detta gynnar även laddningsstationen vid planering.
- Elfordonet bör kunna dela sina specifikationer så som exempelvis märke, modell, registreringsnummer och batterinivå med laddoperatören för att kunna boka en laddpunkt.
- Laddoperatören bör kunna dela bokningsalternativ och tillgänglighet med transportören.

3.4 Kostnadsanalys

Inköpspriset för elektrifierade lastbilar är högre än för dieseldrivna lastbilar vilket ofta ses som en barriär mot en ökad användning av elektrifierade lastbilar (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019). Studier påvisar dock att elektrifierade lastbilar kan minska totalkostnaden jämfört med dieseldrivna lastbilar (Whitehead, et al., 2022). Trots att det krävs högre investeringskostnader i inköp, kan detta kompenseras av lägre driftkostnader och livscykelkostnaden blir densamma. Det är framför allt fördelaktigt för fordon som avverkar många mil per år och har en lång livslängd på batteriet (Al-Hanahi, et al., 2021). Samtidigt har utvecklingen av elektrifierade fordon de senaste åren gått snabbt och förbättringar i teknologi och kostnad har uppnåtts (Borlaug, et al., 2022).

Elektrifierade fordon medför en förändrad kostnadsstruktur och Abrahamsson och Aronsson (1999) diskuterar vikten av att kartlägga kostnader och att en ny kostnadsstruktur medför att priset för en produkt eller en tjänst måste revideras för att täcka de förändrade kostnaderna. En vanlig metod för att kartlägga kostnader är TCO och denna beskrivs nedan.

3.4.1 TCO

TCO står för Total Cost of Ownership och syftar till att utreda den totala kostnaden som uppstår vid köp från en leverantör, där inte enbart inköpspriset tas hänsyn till (Ellram, 1993). Till skillnad från TCA (Total Cost Analysis) fokuserar TCO på den totala ägandekostnaden och inkluderar därmed kostnader för både inköp och drift. Därmed täcker en TCO-analys in alla kostnader som förväntas uppstå under en produkts livslängd (Hurkens, 2006). Det innebär att den operativa driften har stor påverkan på kostnadsberäkningen och därmed ställer krav på hur systemet utformas för att minimera de operativa kostnaderna (Göhlich, et al., 2018).

En TCO är passande att använda vid jämförelse av två inköp med olika inköpspris och olika operativa kostnader, vilket är fallet för dieseldrivna och elektrifierade bilar (Wu, et al., 2015). Även antaganden för hur priset för batterier och laddinfrastruktur utvecklas i framtiden bör

inkluderas i en sådan kostnadsmodell (Göhlich, et al., 2018). Många modeller utformas därför med känslighetsanalyser för att ta hänsyn till detta (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019).

TCO påverkas av flertalet direkta och indirekta faktorer, exempelvis produktionskostnader, räckvidd, laddningsfrågor, myndighetspolicy och utveckling av batteriteknik (van Velzen, et al., 2019). Beroende på vad syftet med TCO är kan olika tidsperioder antas. Burke et al. (2023) använder en 5-årig ägandeperiod för att påvisa fordonsägarens ekonomiska beslut, medan en 15-årig ägandeperiod för att spegla fordonens samhällsvärde och dess olika kostnader under dess livstid. En längre tidsperiod inkluderar även batteribyte. I TCO-modellen bör även en tidsbestämd diskonteringsränta inkluderas (Burke, et al., 2023).

Arbete med att identifiera kostnadsposter som är associerade till det specifika inköpet behöver göras och hänsyn kan tas till förtransaktionella kostnader, transaktionskostnader och eftertransaktionella kostnader (Ellram, 1993).

Metodik

Abrahamsson och Aronsson (1999) beskriver en metodik för att utforma kostnadsberäkningar som de kallar för trefasmodellen (*Figur 16*). Den innefattar följande tre steg:

1. Förstå systemet som studeras. Analysera alla aktiviteter som ingår i systemet och bestäm systemgränser. Strukturella förändringar förändrar output och hur det förändras bör studeras.
2. Kalkylera totalkostnaden av det studerade systemet. Identifiera kostnadsposter. Det är viktigt att första fasen är väl genomförd för att rätt kostnadsposter ska studeras. Vissa kostnader drivs av olika parametrar och kan behöva flyttas.
3. Hitta parametrar som driver stora förändringar i resurser.

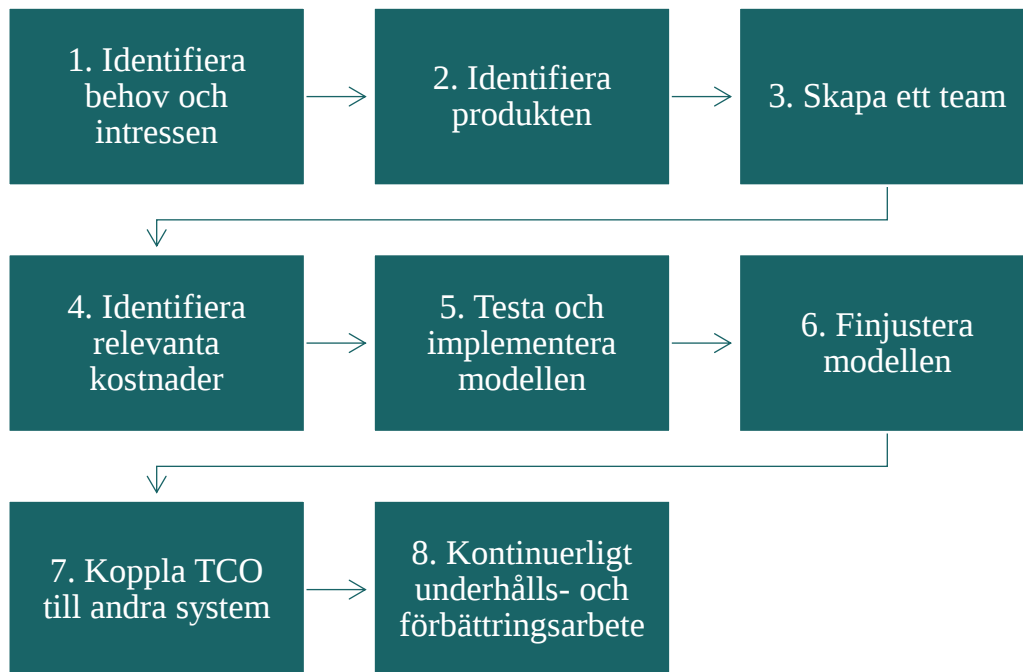


Figur 16: Metodik för TCO. Källa: Abrahamsson och Aronsson (1999).

Även Ellram (1993) har utformat ett ramverk för TCO (*Figur 17*) i följande åtta steg:

1. Identifiera behov och intressen. Det kan finnas både interna och externa drivkrafter för att genomföra en TCO.
2. Identifiera produkten som ska köpas in.
3. Forma ett team som ska utveckla och genomföra TCO. Utifrån vilken produkt som studeras är olika medarbetare viktiga.
4. Identifiera relevanta kostnader.

- a. Relevanta kostnadsposter ska identifieras.
 - b. Teamet avgör vilka kostnadsposter som är lämpliga att studera vidare. Pareto-modellen är ofta tillämpbar där 20% av kostnadsposterna står för 80% av kostnaderna.
 - c. Avgör vilka kostnader som är tillgängliga eller kan göras tillgängliga.
 - d. Notera vart kostnaderna kommer ifrån för att öka spårbarhet. Det är relevant att veta vilka data som är verkliga och vilka data som är framtagna genom antaganden.
5. Testa och implementera modellen. Teamet bör samlas och diskutera modellens giltighet. Om något saknas bör iteration till steg 4 göras.
 6. Finjustera modellen. Känslighetsanalys bör göras för att undersöka hur olika kostnadsuppskattningar påverkar och se hur känslig modellen är mot förändringar.
 7. Koppla TCO till andra system. Exempelvis kundbasen, utbildningssystem och datasystem.
 8. Kontinuerligt underhålls- och förbättringsarbete.



Figur 17: Metodik för TCO. Källa: Ellram (1993).

NPV och break-even

Dimanchev et al. (2023), Moll et al. (2020) och Tanco et al. (2019) använder NPV (Net Present Value) och break-even i deras investeringskalkyler. NPV tar hänsyn till att framtida betalningar inte kommer ha samma värde som idag. För detta används en nuvärdesfaktor (Holmström & Lindholm, 2011). I nuvärdesberäkningar bör både inköpspriset för grundinvesteringen, årliga

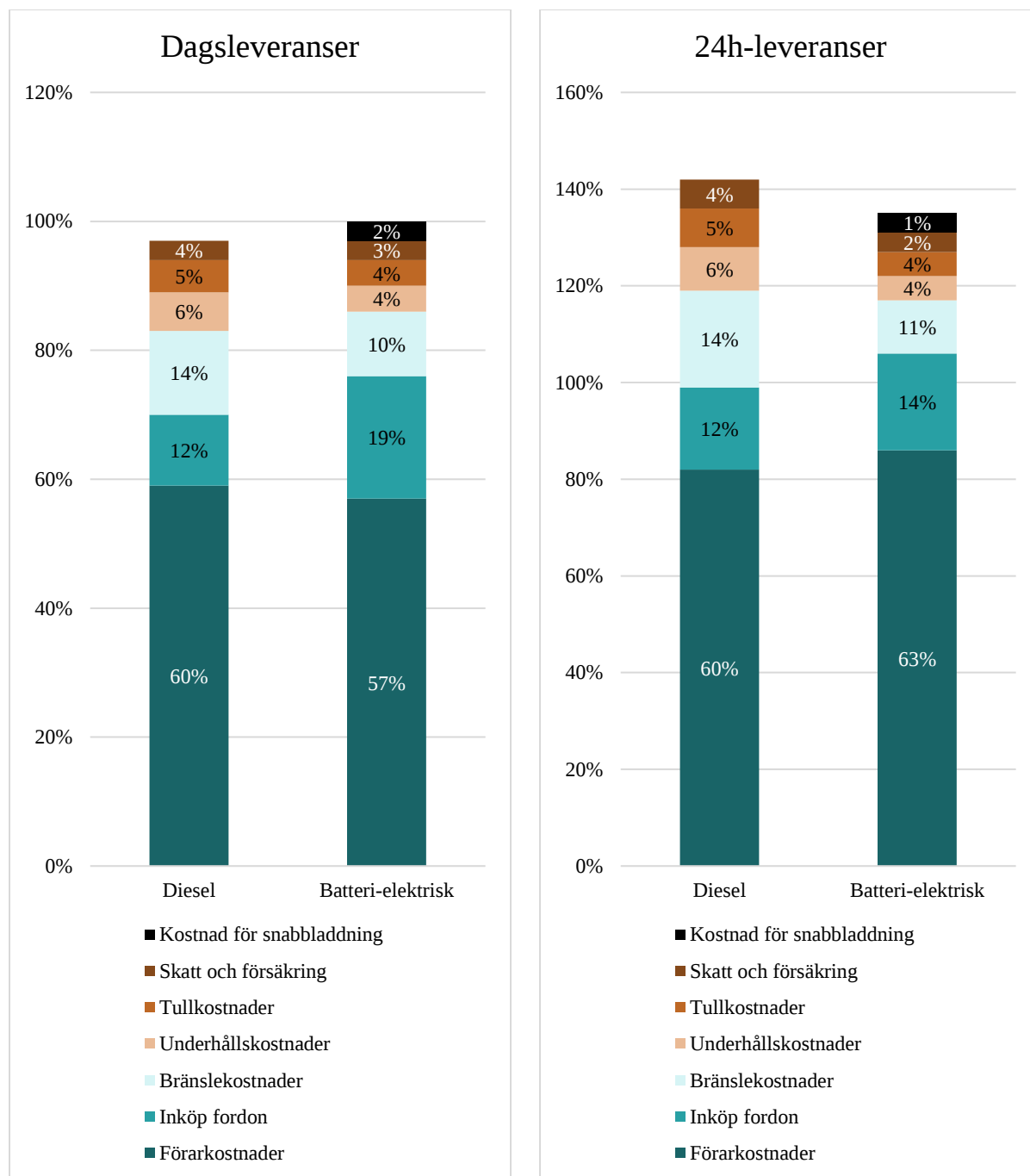
betalningar samt andrahandsvärde vid försäljning av fordonet tas hänsyn till. Det resulterar i Ekvation (1) nedan där n = antal år, r = räntesats i procent uttryckt som decimaltal, G = grundinvestering, a = årliga inbetalningar samt R = Restpris (andrahandsvärde) (Moll, et al., 2020; Holmström & Lindholm, 2011; Dimanchev, et al., 2023).

$$NPV = -G + \sum_{n=1}^i \frac{1}{(1+r)^n} * a + \frac{1}{(1+r)^n} * R \quad (1)$$

Break-even innebär att ta fram den punkt då intäkter är lika stora som de totala kostnaderna. Att passera denna punkt är en förutsättning för att uppnå lönsamhet på ett köp (Holmström & Lindholm, 2011).

3.4.2 Tidigare TCO-studier av elektrifierade lastbilar

Abrahamsson och Aronsson (1999) konstaterar att utformningen av en kostnadsmodell bör anpassas efter det specifika fallet, men att det även är relevant att studera redan genomförda studier. Moll et al. (2020) genomför en TCO-analys för dieseldrivna och elektrifierade tunga lastbilar. Den visar på att kostnadsstrukturen skiljer sig mellan de olika drivlinorna (*Figur 18*) där inköpskostnader är högre för elektrifierade lastbilar samtidigt som drift- och underhållskostnader är lägre. För de elektrifierade bilarna tillkommer dessutom en kostnadspost för snabbladdning på publika laddstationer. Kostnadsstrukturen gör att elektrifierade lastbilar blir mer lönsamt vid ökande distanser och i deras scenario med körning 24 timmar per dygn kan break-even uppnås. I beräkningarna har hänsyn tagits till att dieseldrivna fordon ej får köra i stadskärnor nattetid på grund av regleringar. Fordon med en dieseldrivlina är således begränsade och i beräkningarna antas det krävas 1,5 diesellastbil per elektrifierad lastbil för att uppnå samma leveranskapacitet. Ökningen i personalkostnader mellan scenarierna beror främst på löneökning vid nattkörning.

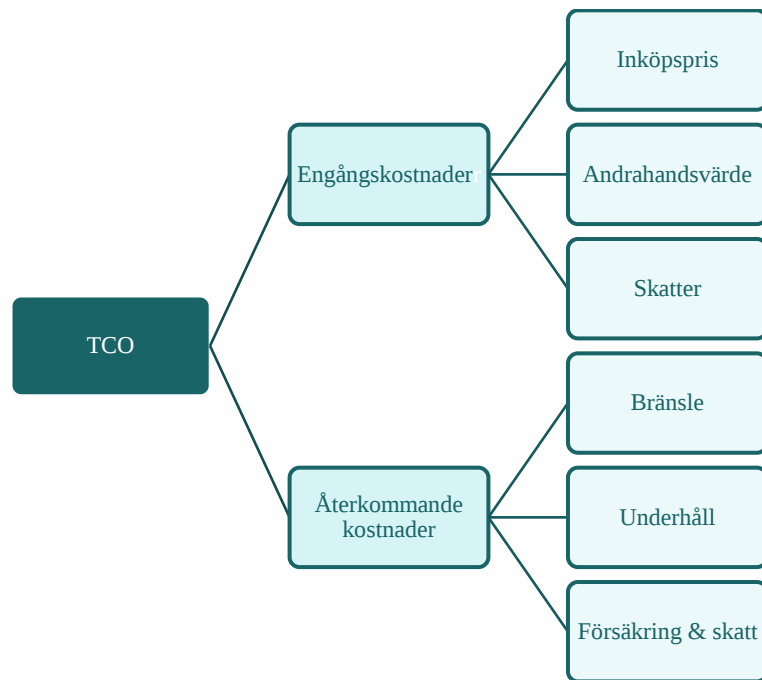


Figur 18: Kostnadsstruktur för dieseldrivna och elektrifierade tunga lastbilar för körning dagtid respektive 24 timmar per dygn. Källa: Moll et al. (2020).

Även Tanco et al. (2019) genomför en TCO av elektrifierade lastbilar och konstaterar att vid vilken tidpunkt som break-even uppnås är beroende på vilken typ av flöden som lastbilar kör. I deras studie delar de in flöden i tre kategorier: stadsflöden, regionala flöden och långväga flöden (motsvarande fjärrtransporter). Fordon inom de olika kategorierna beräknas ha olika break even till följd av de höga investeringskostnaderna och varierande operativa kostnader. Break-even

varierar också mellan länder på grund av bland annat skatter, bränslekostnader och inköpspriser (Tanco, et al., 2019).

Van Velzen et al. (2019) och Basma et al. (2022) delar upp sina TCO-analyser i *engångskostnader* och *återkommande kostnader*. Under den förstnämnda kategorin finns kostnader såsom inköp av fordon samt restvärde vid försäljning av fordon. Även skatter för ägandeskap räknas in i denna kategori. Den andra kategorin innehåller kostnadsposter som återkommer vid olika intervall. Det kan exempelvis vara kostnader för bränsle, underhåll, försäkring och skatt. Detta illustreras i *Figur 19* nedan och diskuteras i följande delavsnitt.



Figur 19: Illustration av van Velzen et al. (2019) kategorisering av kostnadsposter.

3.4.3 Engångskostnader

En stor engångskostnad är inköp av fordonet och elektrifierade fordon har ofta ett högre inköpspris än motsvarande dieseldrivna fordon (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019; Teoh, 2022). Förbättringar i litiumbatteritekniker gör däremot att elektrifierade fordon blir alltmer ekonomiskt hållbara (Al-Hanahi, et al., 2021) och det förutspås att kostnaden för batterier kommer minska. Det beror bland annat på grund av ökad konkurrens och minskade produktionskostnader (Basma, et al., 2022; Tanco, et al., 2019).

När fler produkter produceras ger det upphov till erfarenhetskurvor, vilket på sikt ger möjlighet till lägre kostnader (van Velzen, et al., 2019). Även Burke et al. (2023) påstår att till följd av att enhetspriserna för komponenter kommer bli lägre, så kommer försäljningspriserna att sänkas under perioden 2020-2040.

Då investeringskostnaden för en ny elektrifierad lastbil är hög innebär dessa inköp en extra stor risk för transportörer (Gillström, 2023) eftersom de exempelvis påverkas av andra parter strategier (Karlsson & Grauers, 2023). Inköpspriset förväntas drastiskt minska under perioden 2020–2030 för att sedan ha en långsammare minskning i perioden 2030–2040 (Burke, et al., 2023). För att kompensera för de höga investeringskostnaderna bör en eldriven lastbil ha en hög nyttjandegrad (Uhrdin, et al., 2023). När det kommer till beslut som beror på priser på nät, publika laddningar, etcetera antas denna problematik minska på sikt allt eftersom infrastrukturen etableras och laddningsmönster kan identifieras (Karlsson & Grauers, 2023). Osäkerheten i hur tekniken utvecklas innebär en risk. För att hantera de höjda investeringskostnaderna och den förhöjda risken föreslår Uhrdin et al. (2023) att kontraktstiderna bör anpassas. Enligt en undersökning av CLOSER (2022) ser de flesta transportörer att kontraktstiderna bör öka till 36–60 månader, till skillnad från den vanliga längden på 12–36 månader som tillämpas för konventionella transporter.

Ytterligare en osäkerhet som bör tas i beaktning vid investeringar är de elektrifierade lastbilarnas restvärde. Efterfrågan på eftermarknaden på dieseldrivna lastbilar är idag hög och de med höga miltal kan säljas på exportmarknaden (Uhrdin, et al., 2023). Restvärdet av ett fordon anses speglas av hur mycket av ett fordon's livslängd som finns kvar och kan för dieseldrivna lastbilar med god precision estimeras till följd av det breda utbudet, vilket inte alltid är fallet för alternativa drivmedel (Uhrdin, et al., 2023; Björklund, 2018). Det eftersom det idag enbart finns ett fåtal begagnade elektrifierade fordon på marknaden att jämföra andrahandsvärdet med (Basma, et al., 2022; Uhrdin, et al., 2023). Stabil eftermarknad är betydande vid investeringskalkylering inför inköp av nya lastbilar (Uhrdin, et al., 2023). TCO och investeringens osäkerhet minskas till följd av att lastbilen kan säljas vidare. Förutsättningen för en god eftermarknad, främst internationellt, är standardiseringsgraden på lastbilarna och anpassad infrastruktur (Uhrdin, et al., 2023). TCO blir därmed svårare att beräkna om andrahandsvärdet är okänt (Lindbom, et al., 2024; Uhrdin, et al., 2023).

Batteriets hälsa och kvarvarande garantiperiod är även aspekter som påverkar andrahandsvärdet. Batteriets restvärde efter 5 år antas enligt Burke et al. (2023) vara 15% av dess initiala kostnad. Teoh (2022) diskuterar att en risk kopplat till elektrifierade fordon är den dyra kostnad som uppstår vid byte av batteriet. Tanco et al. (2019) exkluderar dock kostnad för batteribyte för sin TCO-analys då livslängden beräknas vara längre än den 10 åriga period som deras TCO-analys avser.

Det är konstaterat att risken ökar för att bli fast med höga kostnader när transportkontrakt löper ut om bilen inte kan säljas vidare (Uhrdin, et al., 2023). Denna risk kan enbart delvis minskas med längre kontraktstider och det krävs således komplementärt stöd från fordonstillverkarna. Om de erbjuder sig att köpa tillbaka lastbilarna alternativt hyra ut dem tar de över delar av risken samt möjliggör ett effektivare materialkretslopp (CLOSER, 2022; Uhrdin, et al., 2023). Detta skulle kunna motiveras av fordonstillverkarnas ansvar för hela livscykeln men även återanvändning av material, något som kan reducera kostnader (Uhrdin, et al., 2023). Även

leasing av batterier kan minska risken, då det ökar kontrollen över batteriernas hela livscykel och möjliggör därmed enklare återanvändning eller återvinning (Teoh, 2022). Vilken form av finansieringsmetod och hur länge fordonen ska ägas bör tas i beaktning vid TCO-beräkningarna. Även skatt som uppkommer vid tidpunkten för fordonsregistrering inkluderas i engångskostnader (Basma, et al., 2022). Likaså resonerar Teoh (2022) att kostnaden för uppförande av laddsystem ofta är signifikant och bör inkluderas i TCO beräkningar. Idag är detta något som ofta förbises.

Vid jämförelse av TCO-analyser på elektrifierade fordon gjorda av Moll et al. (2020), Basma et al. (2022) och Tanco et al. (2019) har ett antal kostnadsposter och tillhörande parametrar för engångskostnader identifierats. Dessa presenteras i Tabell 3 och Tabell 4 nedan.

Tabell 3: Kostnadsposter för engångskostnader vid elektrifierade fordon.

Kostnadsposter	Enhet
Inköpspris fordon	SEK
Andrahandsvärde fordon	SEK
Investeringskostnad laddsystem	SEK

Tabell 4: Parametrar för engångskostnader vid elektrifierade fordon.

Parametrar	Enhet
Räntesats på lån	%
Låneperiod	År
Avskrivningstakt	%

3.4.4 Återkommande kostnader

Återkommande kostnader kan kopplas till driften av fordon och körd sträcka (Basma, et al., 2022; van Velzen, et al., 2019). Basma et al. (2022) och Moll et al. (2020) inkluderar bränslekostnader i sina TCO-beräkningar. Dessa kan dock vara svåra att uppskatta, men är något som får stor påverkan på analysen. För elektrifierade fordon ingår bland annat elnätsavgift och kostnad baserad på förbrukning i denna kategori (Basma, et al., 2022). Även abonnemang för laddning vid publika laddstationer bör inkluderas (Moll, et al., 2020). Då elektrifierade fordon har lägre bränslekostnader per körd sträcka kan det göra elektrifierade fordon till ett kostnadseffektivt alternativ sett till TCO (Borlaug, et al., 2022; Tanco, et al., 2019). Detta förutsätter dock att fordonen har hög nyttjandegrad (Basma, et al., 2022).

Elektrifierade lastbilar har högre effektivitet som kan minska drift- och körkostnader (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019). En hög effektivitet som minskar energiförbrukning per körd sträcka gör dessutom att elektrifierade lastbilar blir mindre känsliga för kostnadsvariationer i energipriser. Detta stärks ytterligare av att dieselpriiser ofta är mer volatila än elpriser (Basma, et al., 2022).

Elektrifierade fordon har även lägre underhållskostnader än dieselfordon på grund av mindre rörliga delar och vätskor (Li, et al., 2023; Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019). Uppskattningar av Basma et al. (2022) visar att dessa kan vara cirka 32% lägre medan Tanco et al. (2019) resonerar att de motsvarar cirka 60,5% av underhållskostnaden för fordon med förbränningsmotorer. Här bör dock hänsyn tas till att det finns en brist på verkstäder som kan reparera elektrifierade fordon, vilket ger en ökad risk (Teoh, 2022). Därtill tillkommer kostnader för bland annat försäkring och chaufförlöner (Moll, et al., 2020). I denna kategori bör även årlig skatt för ägandeskap inkluderas.

Vid jämförelse av TCO-analyser på elektrifierade fordon gjorda av Moll et al. (2020), Tanco et al. (2019) Basma et al. (2022) och Dimanchev et al. (2023) har ett antal kostnadsposter och tillhörande parametrar för återkommande kostnader identifierats. Dessa presenteras i Tabell 5 och Tabell 6 nedan.

Tabell 5: Kostnadsposter för återkommande kostnader vid elektrifierade fordon.

Kostnadsposter	Enhet
Chaufförlön dag	SEK/h
Chaufförlön natt	SEK/h
Bränslepris	SEK/l eller SEK/kWh
Underhållskostnad	SEK/km
Reparationskostnad	SEK/km
Kostnad för däck	SEK/km
Tullkostnad	SEK/km
Skatt	SEK/år
Försäkringskostnad	SEK/år
Abonnemang laddstationer	SEK/år
Underhålls och reparationskostnader laddinfrastruktur	SEK/år
Kostnad för uppgradering av nät	SEK/år
Kostnad för laddning	SEK/kWh
Bidrag	SEK eller %

Tabell 6: Parametrar för återkommande kostnader vid elektrifierade fordon.

Parametrar	Enhet
Antal rundor dag	St/dag
Antal rundor natt	St/dag
Körd sträcka dag	Km/dag
Körd sträcka natt	Km/dag
Arbetsdagar per år	St/år
Livscykel längd fordon	År
Avskrivning	År
Årlig körd sträcka	Km/år
Bränsleförbrukning	l/km eller kWh/km
Livscykel längd laddinfrastruktur	År
Fördelning stadstrafik och landsbygd	%
Diskonteringsränta	%
Årligt laddbehov	kWh
Förändring i elbehov	(Standardavvikelseberäkningar)

3.4.5 Bidrag

Myndigheter spelar en avgörande roll för utvecklingen, speciellt i den tidiga fasen genom att implementera policys (van Velzen, et al., 2019). Detta stärks av studien gjord av Basma et al. (2022) som visar på att elektrifierade fordon kan uppnå break-even snabbare jämfört med dieseldrivna fordon om det finns bidrag att få.

Företag i Sverige har möjlighet att söka bidrag från Klimatklivet på upp till 25% av inköspriset för ett elektrifierat fordon. Det är ett investeringsstöd som delvis finansieras av Europeiska Unionen och beviljas till investeringar som bidrar till minskade utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser. Bland annat innefattas omställning till förnybara bränslen och byggnation av publika laddstationer (Naturvårdsverket, u.å.).

Energimyndigheten har nyligen utlyst ett ekonomiskt stöd för aktörer som ämnar bygga semi-publik laddinfrastruktur. Detta för att möjliggöra destinationsladdning. Stödnivån gäller på 20-50% av inköpskostnader. Upplýsningen innehåller dessutom extra stöd för landsbygdskommuner som kan ge extra 5% i ekonomiskt stöd. Krav för att stöd ska beviljas är att det bör finnas fler aktörer som har ärenden till platsen. Stödet gäller således inte för egen depåladdning (Energimyndigheten, 2024).

3.4.6 Känslighetsanalys

Abrahamsson och Aronsson (1999) samt Björklund (2018) diskuterar behovet av att identifiera parametrar som driver stora förändringar i TCO-analysens slutresultat för att säkerställa ett robust och säkert beslutsmaterial och öka trovärdigheten. Särskilt parametrar där antaganden

behövs göras bör testas. Tanco et al. (2019) tar upp förslag på parametrar som är av osäker karaktär i TCO-analys gällande elektrifierade lastbilar och bör inkluderas i en känslighetsanalys. Dessa är bland annat inköpspris samt variationer och inflation av elpris och bränslepris. Basma et al. (2022) noterar även att hänsyn bör tas till hur kostnader kan variera mellan olika depåer.

3.5 Sammanfattning

I referensramens olika områden har ett flertal förutsättningar och lösningar identifierats. Aktörer påverkas olika av dessa förändrade förutsättningar och är i behov av olika typer av lösningar. För fallföretagen Renall och Returpack kommer vissa förändrade förutsättningar vara mer utmanande och det kommer krävas riktade undersökningar kring respektive förutsättning. Nedan kommer de förändrade förutsättningar och lösningar som påverkar fallföretagen i högsta grad att identifieras.

3.5.1 Förändrade förutsättningar som studeras vidare

I referensramen har flertalet begränsningar och möjligheter som följer elektrifiering presenterats. Dessa benämns härnäst som förändrade förutsättningar och sammanställs i Tabell 7 nedan.

Tabell 7: Sammanställning av de förändrade förutsättningar som presenterats i referensramen.

Förändrade förutsättningar identifierade ur referensramen
Kortare räckvidd
Batteriernas vikt begränsar lastvikten
Behov av laddinfrastruktur
Behov av laddstrategi
Lägre ljudnivå
Nya kostnader och kostnadsstruktur
Snabb och oviss teknikutveckling
Emissionsfritt
Förändrat nätbehov
Nya inköpsrutiner

De förändrade förutsättningar som studeras vidare i rapporten är: **kortare räckvidd samt behov av laddstrategi och laddinfrastruktur**, vilket motiveras nedan.

En bränsletank som förser en lastbils förbränningsmotor rymmer en tillräckligt stor mängd bränsle för att uppdragen ska kunna genomföras utan att begränsas av tankbehov (Kopasz & Krause, 2019). Räckvidden för en eldriven lastbil begränsas av den mängd energi som kan lagras i lastbilens batteri (Al-Hanahi, et al., 2021), vilket motsvarar en lägre mängd energi än den energi som kan utvinna från traditionella drivmedel. Därmed uppstår förutsättningen kortare räckvidd som en väsentlig barriär för både Renall och Returpack då de nuvarande uppdrag och rutter bör kunna genomföras trots den lägre mängd energi som lastbilen kan bära med sig under uppdraget/rutten.

Idag saknar både Renall och Returpack laddinfrastruktur i egen regi för att täcka behovet för en fullständigt elektrifierad fordonsflotta. Då laddinfrastrukturen nämns som en barriär för elektrifiering (Li, et al., 2023) bör lokalisering och tillgänglighet för infrastruktur i närområdet till företagens trafikerade rutter undersökas. Dessutom bör företagens möjligheter att bygga egen infrastruktur utredas eftersom det påverkar utformningen av laddstrategier (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022).

För dieseldrivna lastbilar är infrastrukturen för tankning väl utbredd (Lindbom, et al., 2024) och tankningen genomförs på cirka 10-15 minuter (Kopasz & Krause, 2019). Det i kombination med en längre räckvidd för dieseldrivna fordon (Kopasz & Krause, 2019) har lett till att det för dieseldrivna lastbilar inte krävs någon strategi för tankning, vilket det gör för elektrifierade lastbilar (Teoh, 2022). Därmed bör behovet av laddstrategi utredas för respektive företag.

Vid elektrifiering förändras kostnadsfördelningen (Kley, et al., 2011; Tongur & Engwall, 2014), då det bland annat påvisas högre inköpspriser (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019; Teoh, 2022) och lägre driftkostnader (Basma, et al., 2022; Borlaug, et al., 2022; Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019). För att utreda hur företagen påverkas av förändrad kostnadsfördelning behövs information om de nya elektrifierade lastbilarna samt vissa strategiska val så som val av laddstrategi etcetera.

Sammanfattningsvis kommer som tidigare nämnt därmed förändrade förutsättningar innebära: **kortare räckvidd, behov av laddstrategi och laddinfrastruktur.**

3.5.2 Lösningar som studeras vidare

I referensramen har flertalet lösningar som kan underlätta elektrifiering presenterats, vilka sammanställs i Tabell 8 nedan. Benämningen lösningar innefattar lösningar som kommer från nya möjligheter med elektrifiering, exempelvis nattleveranser, och lösningar som rekommenderas för att klara av elektrifieringen, exempelvis kompetensförsörjning. Därefter följer motivering för de lösningar som studeras vidare.

Tabell 8: Sammanställning av de lösningar som presenterats i referensramen.

Lösningar som underlättar elektrifiering
Nattleveranser
Oassisterade leveranser
Datadrivna beslut
Nya IT-system och optimeringsalgoritmer
Utbildning av förare
Realtidsdata
Utökad effektkontroll
Nya affärsmodeller
Utmana systemtänk
Samverkan
Nya inköpsrutiner
Eco-driving
Aktivitet under laddning
Långsiktig planering
Kompetensförsörjning
Förläng ledtider
Längre kontraktstider

Datadrivna beslut, realtidsdata samt nya IT-system och optimeringsalgoritmer hänger delvis ihop. IT-system bör vara anpassade efter det logistiksystem som företaget verkar i. Enligt Wolf & Seuring (2010) är IT-system även viktiga för att kunna arbeta med datadrivna beslut och realtidsdata, eftersom det behövs infrastruktur och plattformar som kan ta hand om, och visualisera, den data som kan samlas in från bland annat laddstationer och fordon (Lindbom, et al., 2024). Då exempelvis teknikutvecklingen är oviss ökar vikten av att ta välinformerade beslut (Lindbom, et al., 2024), något som motiverar vikten av datadrivna beslut vid elektrifiering. Datadrivna beslut bedöms dock begränsas av IT-system och realtidsdata, vilket innebär att dessa lösningar utreds i ett första läge.

Genom utbildning och uppföljning av chaufförer finns möjlighet att implementera eco-driving och spara betydande mängd energi, vilket stärks av Craig & Stanton, (2018) som redovisar att en hastighetssänkning kan minska förbrukningen upp mot 12%. Med en elektrifierad fordonsflotta ökar vikten av att genomföra uppdragen med en lägre energiförbrukning till följd av att begränsad räckvidd definieras som en förändrad förutsättning.

Det svenska elnätet behöver vara i balans (Energimyndigheten, 2022a; Energimarknadsinspektionen, 2023b) vilket innebär att det kan bli en lång process för att erhålla önskad kapacitet från elnätet, något som kommer att påverka utformningen av laddstrategier. En utredning om belastningen i det lokala nätet och hur behovet av el kommer se ut för respektive företag behöver genomföras, vilket kan påbörjas genom utökad kontroll över sin

energianvändning. Det kan dessutom underlätta vid laddning, då Li et al. (2023) nämner att laddning bör ske under tider på dygnet då belastningen är lägre. Därmed bedöms lösningen vara relevant att undersöka vidare.

Till följd av att elektrifierade lastbilar är mer tystgående finns möjligheten att framföra fordonet under natten utan att störa boende i närområdet, något som öppnar upp möjligheten för nattleveranser och oassisterade nattleveranser (Lindbom, et al., 2024; Pernestål Brenden, et al., 2017). För att få leverera under natten bör det dock kunna genomföras utan störande ljud (Pernestål Brenden, et al., 2017) vilket inte är möjligt för Renall eller Returpack. Det motiverar till att nattskift inte är aktuellt att studera vidare i denna rapport. Leveranser utanför ordinarie skift behöver dock inte enbart innefatta nattskift, utan kan innebära skift utanför de vanligaste förekommande arbetstiderna, exempelvis under kvällen. Då nyttjandegraden för fordonen bör öka vid elektrifiering (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019) motiverar det till att se över möjligheten för förlängda skift och att andra chaufförer än den ordinarie kan framföra fordonet. I samband med nattleveranser diskuteras ofta oassisterade nattleveranser vilket även bör undersökas vidare i denna studie, då företagen ofta är beroende av kundens närvaro för att genomföra ett uppdrag vilket kan påverka hur de kan anpassa sig efter de förändrade förutsättningarna som följer elektrifiering.

Enligt Al-Hanahi, et al. (2021) och Kumar, et al. (2021) är laddning mer tidskrävande än att tanka en lastbil med förbränningsmotor, vilket innebär att lägre andel av chaufförens arbetsdag kan nyttjas till att utföra uppdrag. Därmed presenterar Teoh (2022) och Nåbo, et al. (2023) möjligheten att chauffören bör genomföra andra aktiviteter samtidigt som laddning sker, exempelvis lastning, lossning eller underhåll. Då Renalls uppdrag har en stor variation bör denna lösning inte exkluderas utan att uppdragens karakteristik studeras för att bedöma om det är genomförbart.

Eftersom elektrifierade lastbilar har lägre flexibilitet än dieseldrivna lastbilar (Speth & Funke, 2021) är det även av intresse att undersöka lösningar som kan öka flexibiliteten i systemet då det förbättrar möjligheten att genomföra effektivitetsåtgärder. Några lösningar som har presenterats i referensramen är avvecklande av leveransfönster och förlängda ledtider (Björklund, 2011; Zhao, et al., 2021), vilket hädanefter samlas inom benämningen lägre kundkrav.

Då elektrifiering kräver långsiktighet (Lindbom, et al., 2024; Uhrdin, et al., 2023) bör kontraktslängderna ses över för fallföretagen. Längre kontraktstider är en lösning tillämpbar på ökad långsiktighet då det enligt CLOSER (2022) säkerställer beläggning på bilarna över tid och därmed underlättar bland annat planering och kostnadsberäkningar.

Då brist på kompetens kan vara ett hinder för elektrifiering (CLOSER, 2022), bör det utredas om företagen har rätt kompetensförsörjning. De bör mer precist utreda om de behöver öka sin strategiska kompetens kring elektrifiering eller om de idag besitter kompetensen alternativt förmågan att tillgodose sig kompetensen som de behöver. Det stärks av Lindbom et al. (2024) vilka förklarar att aktörer behöver ha en beredskap för att hantera den snabba teknikutvecklingen.

I *Tabell 9* nedan presenteras de lösningar som studeras vidare samt de namn varje lösning givits av författarna med avseende att öka tydligheten.

Tabell 9: Identifierade lösningar som studeras vidare.

Identifierade lösningar
Nya IT-system
Realstidsdata
Utökad effektkontroll
Förlängda skift
Eco-driving
Aktivitet under laddning
Lägre kundkrav
Oassisterade leveranser
Längre kontraktstider
Strategisk kompetens

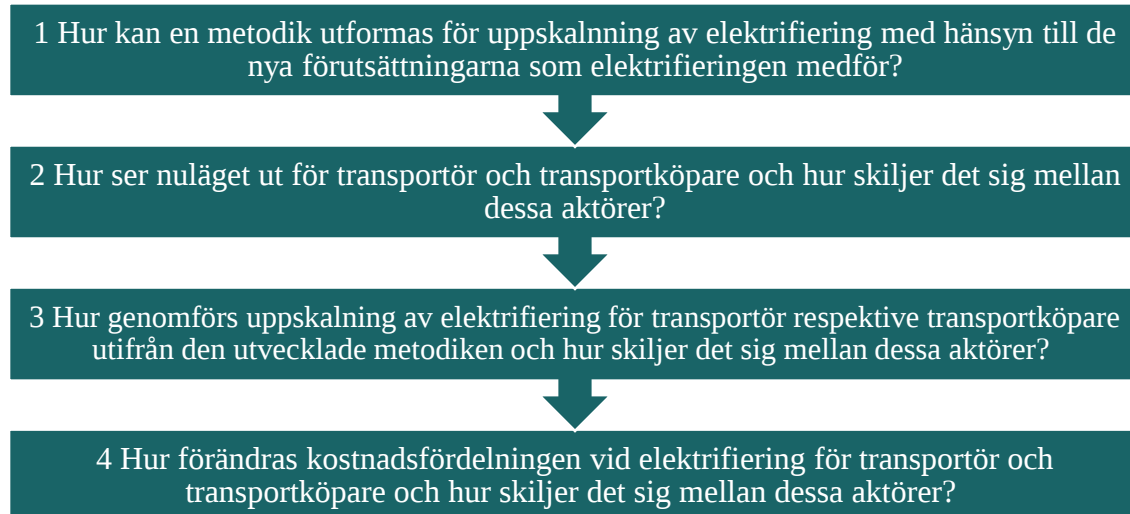
4 Uppgiftsprecisering

I följande kapitel utvecklas den innevarande rapportens frågeställningar. Syfte och huvudfrågor bryts ner i underfrågor som ämnar utformas på ett sådant sätt att syftet slutligen besvaras. Utformningen av huvudfrågor och underfrågor utgår från fallföretagens situation samt akademisk litteratur.

I avsnitt 1 Inledning formulerades syftet som följande:

Syftet är att utreda hur transportörer och transportköpare kan arbeta mot fullständig elektrifiering av tunga transporter.

Syftet bröts i inledningen ner i fyra huvudfrågor vilka är beroende av varandra och ämnas besvaras i kronologisk ordning (*Figur 20*).



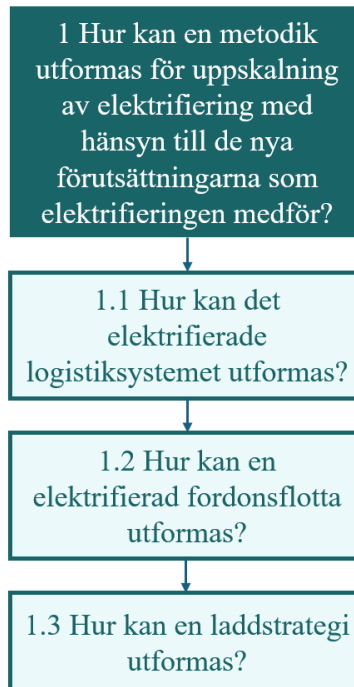
Figur 20: Studiens fyra huvudfrågor och deras ordningsföljd.

4.1 Huvudfråga 1

Som motiverat i inledningen är huvudfråga 1 utformad som följande:

Hur kan en metodik utformas för uppskalning av elektrifiering med hänsyn till de nya förutsättningarna som elektrifieringen medför?

Huvudfrågan besvaras genom tre underfrågor, 1.1, 1.2 respektive 1.3 (*Figur 21*). Att utveckla logistiksystemet (*underfråga 1.1*) är nödvändigt för att uppnå en hög elektrifieringsgrad. När det utretts kan val av fordon och utformning av fordonsflottan göras (*underfråga 1.2*) samt laddstrategier utformas (*underfråga 1.3*).



Figur 21: Den första huvudfrågans underfrågor.

4.1.1 Underfråga 1.1

De tre identifierade förändrade förutsättningarna är som tidigare nämnt begränsad räckvidd, behov av laddstrategi och laddinfrastruktur, vilket ställer nya krav på företags logistiksystem. Cabukoglu et al. (2018) konstaterar att logistiksystemet bör förändras för att kunna nå en hög elektrifieringsgrad eftersom det nuvarande logistiksystemet är anpassat efter fossildrivna fordon och inte efter de nya förutsättningarna som följer elektrifiering. Det innebär att företag kommer behöva arbeta annorlunda jämfört med nuvarande arbetssätt då dessa inte är anpassade efter begränsad räckvidd, behov av laddstrategi och laddinfrastruktur. För att ta hänsyn till dessa bör det elektrifierade logistiksystemet utvecklas med högre effektivitet samt en högre förutsägbarhet, eftersom det förenklar planeringen vid elektrifierade lastbilar (Magnusson, et al., 2020). Den förändrade kostnadsstrukturen ställer dessutom högre krav på hög nyttjandegrad för att kompensera för det ökade inköpspriset (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019). Metodiken bör därmed syfta till att underlätta utformningen av det elektrifierade logistiksystemet med fokus på effektivitet, nyttjandegrad och förutsägbarhet.

Hur kan det elektrifierade logistiksystemet utformas?

4.1.2 Underfråga 1.2

En av de identifierade förändrade förutsättningarna är begränsad räckvidd, vilket innebär att fordonet inte kan färdas lika långt på en laddning som det kan göra på en tank. Räckvidden beror av val av batterikapacitet, där ett större batteri med högre kapacitet således kan ge längre räckvidd. För att öka räckvidden vore det därmed naturligt att välja största möjliga

batterikapacitet. Basma et al. (2022), Burke et al. (2023) och Leonard et al. (2022) har dock fastställt att finansiella aspekter bör vägas mot räckvidd vid valet av batterikapacitet. Det är även viktigt att identifiera den optimala batterikapaciteten för fordonets uppdrag utifrån batterieffekt, åldrande och inköpspris. Detta för att kunna fortsätta genomföra uppdragen som idag och behålla inkomsterna men minska batteri- och hanteringskostnader som ofta är beroende av batteristorleken (Baek, et al., 2020). Lägre batterikapacitet bör därmed undersökas till följd av dess lägre inköpspris samt förenklad stadskörning, eftersom färre batterier kan underlätta manövreringen av fordonet (Volvo Trucks, 2024; Al-Hanahi, et al., 2021). Större batterier kräver dessutom mindre andel publik laddning vilket påverkar kostnaderna (Lindbom, et al., 2024; Moll, et al., 2020). Resultatet av en studie av Karlsson och Grauers (2023) från Chalmers indikerar på att större batterier är billigare än publik laddning, vilket motiverar att en ekonomisk jämförelse mellan publik laddning och större batteri bör inkluderas i val av batterikapacitet. Komplexiteten i val av batterikapacitet bidrar till att en metodik bör utformas så val av batterikapacitet inte suboptimeras med hänsyn till enbart en av beslutsparametrarna.

Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas?

4.1.3 Underfråga 1.3

Elektrifierade fordon medför nya behov som tidigare inte fanns och utformning av laddstrategi är ett sådant. En väl utformad laddstrategi är nödvändigt för att säkerställa lönsamheten av att använda sig av elektrifierade fordon. Annars finns risk för utökad fordonsflotta, utökade arbetsscheman och reduktion av utförda uppdrag (Teoh, 2022). Likaså kan laddning vid fel tillfällen leda till ökade kostnader (Al-Hanahi, et al., 2021; Basma, et al., 2022). Al-Hanahi et al. (2021) och Kumar et al. (2021) konstaterar även att övergång mot större andel elektrifierade fordon är starkt beroende av laddinfrastruktur och fordonets räckvidd (Al-Hanahi, et al., 2021; Kumar, et al., 2021). Det finns således lönsamhet att vinna och flertalet faktorer att ta hänsyn till vid utformning av laddstrategi. Underfråga 1.3 formuleras således som följande:

Hur kan en laddstrategi utformas?

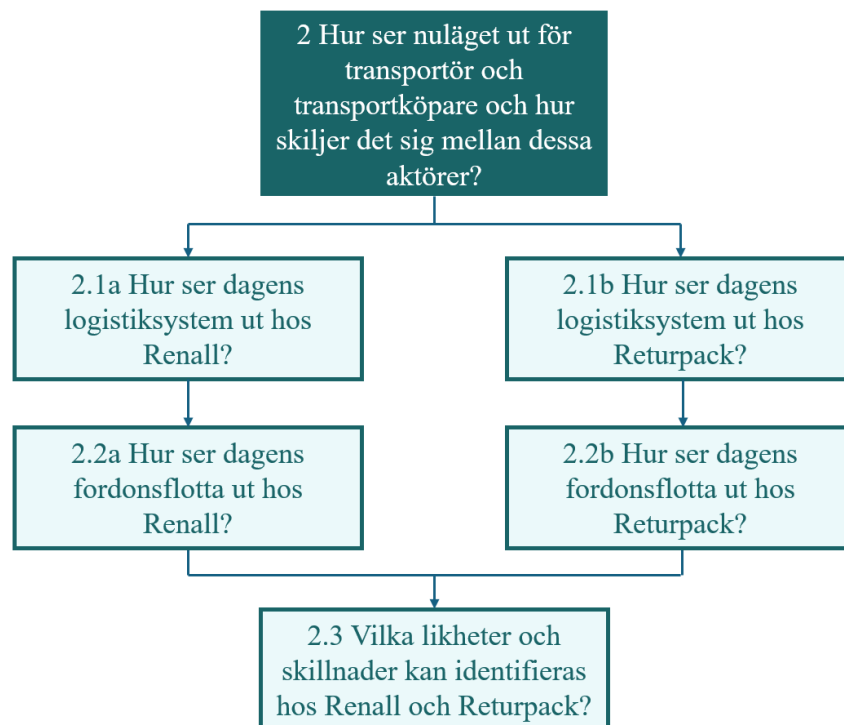
4.2 Huvudfråga 2

Som motiverat i inledningen är huvudfråga 2 formulerad som följande:

Hur ser nuläget ut för transportör och transportköpare och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?

Huvudfrågan besvaras genom tre underfrågor, 2.1, 2.2 respektive 2.3 (*Figur 22*), där 2.1 samt 2.2 delas upp i a och b. Hädanefter kommer frågor märkta med a gälla för Renall och frågor märkta med b gälla för Returpack. Att kartlägga dagens logistiksystem (*underfråga 2.1*), den nuvarande fordonsflottan och dess körkaraktäristik (*underfråga 2.2*) anses vara nödvändigt för att i senare huvudfrågor kunna bedöma hur företagen bör hantera de förändrade förutsättningar som elektrifiering medför. Sedan jämförs de två fallföretagen som representerar transportör och

transportköpare för att undersöka eventuella likheter och vad som skiljer dem åt (*underfråga 2.3*).



Figur 22: Den andra huvudfrågans underfrågor.

4.2.1 Underfråga 2.1

För att skapa sig en grund och utgångspunkt är det först relevant att redogöra för nuläget hos respektive företag genom empiriinsamling (Abrahamsson & Aronsson, 1999; Oskarsson, et al., 2021). Det möjliggörs genom att förstå hur nuvarande logistiksystem ser ut. Logistiksystemet kan inkludera flera delar, bland annat planering och gränssnittet mot andra aktörer, varav dessa blir av intresse att förstå för respektive företag (Martinsen & Huge-Brodin, 2014; Jazairy, 2020; Colicchia, et al., 2013; Haag, et al., 2024). Genom denna utredning är det möjligt att förstå fallföretagens individuella behov av vad det elektrifierade logistiksystemet bör innefatta. Det är först när det har sammanställts som kraven på det elektrifierade logistiksystemet kan identifieras. Underfrågorna 2.1 lyder därmed:

2.1a Hur ser dagens logistiksystem ut hos Renall?

2.1b Hur ser dagens logistiksystem ut hos Returpack?

4.2.2 Underfråga 2.2

En förståelse för företagets lämplighet att elektrifiera möjliggörs genom en empiriinsamling vilken ämnar skapa förståelse för hur fallföretagens nuvarande fordonsflotta och dess körkaraktäristik ser ut. Genom denna förståelse är det möjligt att dela in de olika fordonen i kategorier, exempelvis lokala, regionala och fjärrtransporter, vilket kan skapa en initial förståelse för vilka transporter som är mest lämpliga att elektrifiera (Karlström, 2020). Då räckvidd beskrivs som områden som kommer att påverkas av elektrifiering (Basma, et al., 2022; Burke, et al., 2023; Cunanan, et al., 2021) är det således viktigt att förstå hur verksamheterna nyttjar sina lastbilar idag. Det kan göras genom att förstå deras uppdragskaraktäristik, körmönster samt energiförbrukning. Det är först när det har sammanställts som kraven på den planerade elektrifierade fordonsflottan kan fastställas. Underfrågorna 2.2 lyder därmed:

2.2a Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Renall?

2.2b Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Returpack?

4.2.3 Underfråga 2.3

De två fallföretagen har till följd av sina verksamheter och dess skilda uppdrag olika fordon i sina respektive fordonsflottor. Det ger varierande körkaraktäristik som sätter olika krav på den dagliga planeringen. Renall och Returpack har liknande visioner och högt uppsatta mål kring elektrifiering. Samtidigt befinner de sig i ett tidigt stadiet i resan mot en ökad andel elektrifiering där det finns få exempel att jämföra med och där marknaden ännu inte är mogen. Det försvårar arbetet med att byta ut nuvarande fordon mot elektrifierade. Genom att analysera vilka likheter som kan identifieras för fallföretagen kan resultatet agera möjliggörande för utbyte erfarenheter och kunskap med varandra (Simm, 2024) och på så sätt påverka och hjälpa varandra. För att kunna identifiera likheter och skillnader i genomförandet behöver först nuläget förstås och underfråga 2.3 formuleras därför som följande:

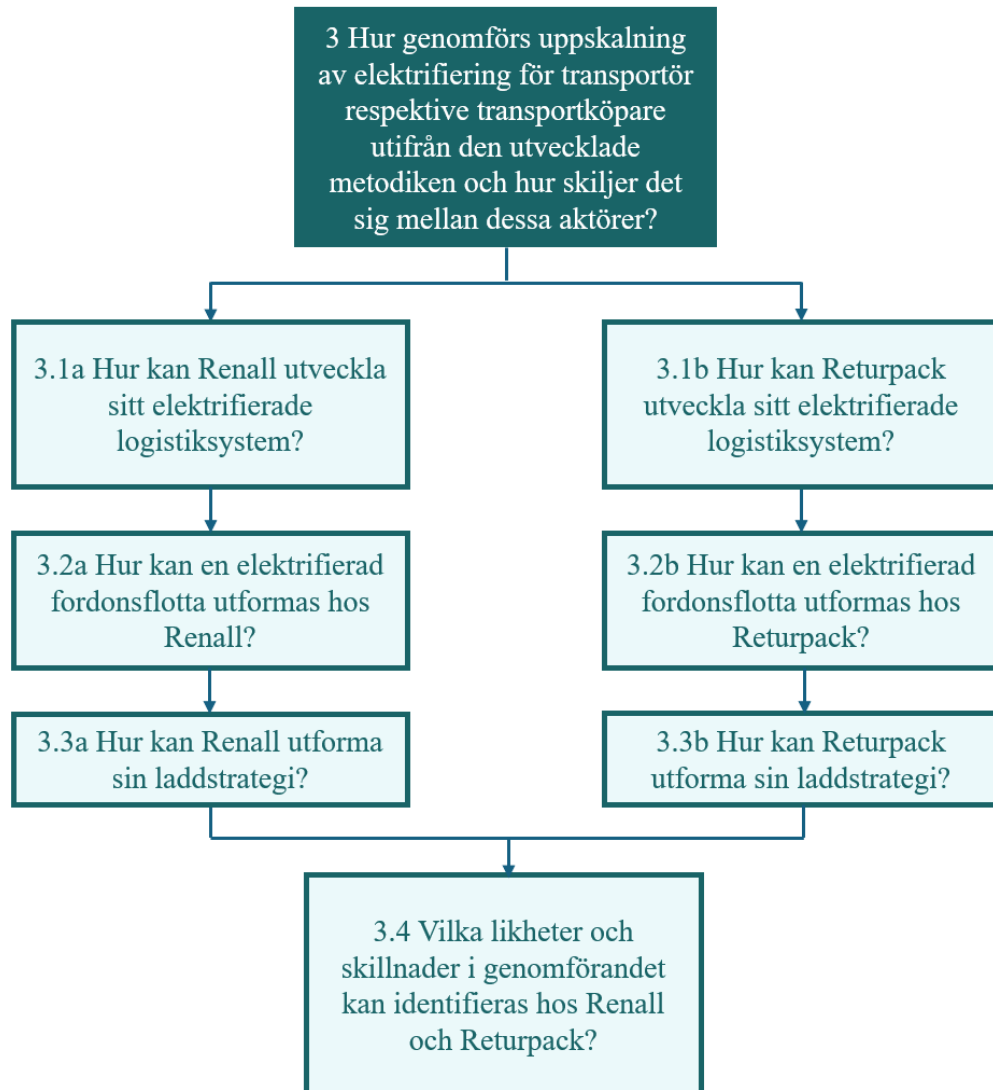
2.3 Vilka likheter och skillnader kan identifieras hos Renall och Returpack?

4.3 Huvudfråga 3

Som motiverat i inledningen är huvudfråga 3 följande:

Hur genomförs uppskalning av elektrifiering för transportör respektive transportköpare utifrån den utvecklade metodiken och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?

För att besvara den andra huvudfrågan formuleras tre underfrågor 3.1, 3.2 och 3.3 (*Figur 23*) som är av analyserande karaktär. Först undersöks hur de förändrade förutsättningarna bör hanteras i logistiksystemet (*underfråga 3.1*) för att sedan resultera i ett beslut kring vilka elektrifierade fordon som kan ersätta fallföretagens nuvarande fordon (*underfråga 3.2*) och tillhörande laddstrategier (*underfråga 3.3*). Sist identifieras gemensamma arbetssätt hos fallföretagen i genomförandet av elektrifiering (*underfråga 3.4*).



Figur 23: Den tredje huvudfrågans underfrågor.

4.3.1 Underfråga 3.1

Fallföretagen har ambitiösa hållbarhetsmål, där elektrifiering beskrivs som en viktig komponent för att nå dessa mål. Att enbart införa elektrifierade fordon i det befintliga logistiksystemet ger enligt Cabukoglu et al. (2018) begränsade positiva effekter och kommer inte bidra till att företagen når sina uppsatta mål. För att elektrifierade lastbilar ska bidra med positiva effekter bör logistiksystemet anpassas utefter de nya förutsättningarna som elektrifiering medför (Cabukoglu, et al., 2018). Det eftersom förutsättningarna kommer förändras när marknaden utvecklas och fallföretagen får in fler elektrifierade lastbilar i sina respektive fordonsflottor (Lindbom, et al., 2024; Uhrdin, et al., 2023). För att möta de förändrade förutsättningarna är det därmed även relevant att undersöka hur fallföretagen bör utveckla sitt logistiksystem utifrån de lösningar som identifierats i Avsnitt 3.5 Sammanfattning. Genom att applicera metodiken på fallföretagen kan dessa lösningar systematiskt utvärderas och resultera i rekommendationer för hur fallföretagen

kan utveckla sitt logistiksystem för att uppnå ett nytt elektrifierat logistiksystem anpassat efter de identifierade förändrade förutsättningarna. Det resulterar i underfrågorna 3.1:

3.1a Hur kan Renall utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?

3.1b Hur kan Returpack utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?

4.3.2 Underfråga 3.2

I underfråga 2.1 sammanställs de krav som fallföretagens nuvarande fordonsflottor ställer på räckvidd för att kunna användas som ingående parametrar vid utredning av nyinköp av elektrifierade fordon. Beroende på körkaraktistiken är olika fordonstyper och sträckor mer lämpliga att elektrifiera givet de batterikapaciteter som idag finns på marknaden. Lastbilar som färdas kortare sträckor ses som extra lämpliga att elektrifieras då dessa har regelbundna stopp, körs i tätbefolkade områden och har förutsägbara rutter (Whitehead, et al., 2022). Magnusson et al. (2020) instämmer och menar att fasta rutter och begränsade geografiska areor gynnar elektrifiering eftersom förutsägbarhet förenklar planeringen.

Applisering av metodiken bör resultera i val av batterikapacitet för respektive fordon med syfte att fortsatt kunna genomföra de uppdrag som fordonen genomför idag. Genom att koppla resultatet till karaktistiken från underfråga 2.1 kan det undersökas om Magnusson et al. (2020) och Whitehead, et al., (2022) påståenden att körsträckan, fasta rutter etcetera påverkar vilka fordon som bör elektrifieras.

3.2a Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Renall?

3.2b Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Returpack?

4.3.3 Underfråga 3.3

Olika fordons laddbehov varierar och påverkas av bland annat daglig körd sträcka, kraftuttag, lastvikt, geografiska distanser och scheman (Al-Hanahi, et al., 2021). Dessutom påverkar tillgång till depåladdning och publik eller semi-publik infrastruktur hur en laddstrategi kan utformas (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Många faktorer är företagsspecifika och kopplade till hur uppdragen ser ut. Därför är det intressant att se resultatet genom att applicera modellen utvecklad i huvudfråga 1 och koppla lösningar till företagens unika karaktistik. Underfråga 3.3 formuleras således som följande:

3.3a Hur kan Renall utforma sin laddstrategi?

3.3b Hur kan Returpack utforma sin laddstrategi?

4.3.4 Underfråga 3.4

Beroende på företagens logistiksystem och roll i logistikkedjan blir genomförandet som presenterats i underfråga 3.1, 3.2 och 3.3 olika för olika aktörer. Sarkis et al. (2004) konstaterar att fler aktörer bör involveras i designen av ett grönt logistiksystem än vad som krävs vid ett

traditionellt logistiksystem. Även Björklund (2018) konstaterar att kunden bör involveras tidigare i utvecklingen av nya tjänster eftersom de påverkar och kommer att påverkas av en förändring i systemet. Enligt Uhrdin et al. (2023) är exempelvis anpassade kontraktstider ett sätt att hantera de förändrade förutsättningarna som påverkar både transportör och transportköpare. Det innebär att det finns ett behov av att utveckla gemensamma lösningar för att skala upp införandet av elektrifierade lastbilar, eftersom det kan finnas ett beroende mellan aktörer som gör det svårt att som enskild aktör lyckas med uppskalning (Simm, 2024). Genom att förstå likheterna mellan företagens arbetssätt för att hantera uppskalning av elektrifiering skapas underlag för integration och samverkan mellan aktörerna (Simm, 2024). För att kunna utreda detta behöver därför likheter hos fallföretagens genomförande undersökas och gemensamma arbetssätt identifieras. De lösningar presenterade i underfrågorna 3.1, 3.2 och 3.3 ligger till grund för underfråga 3.4 som formuleras enligt följande:

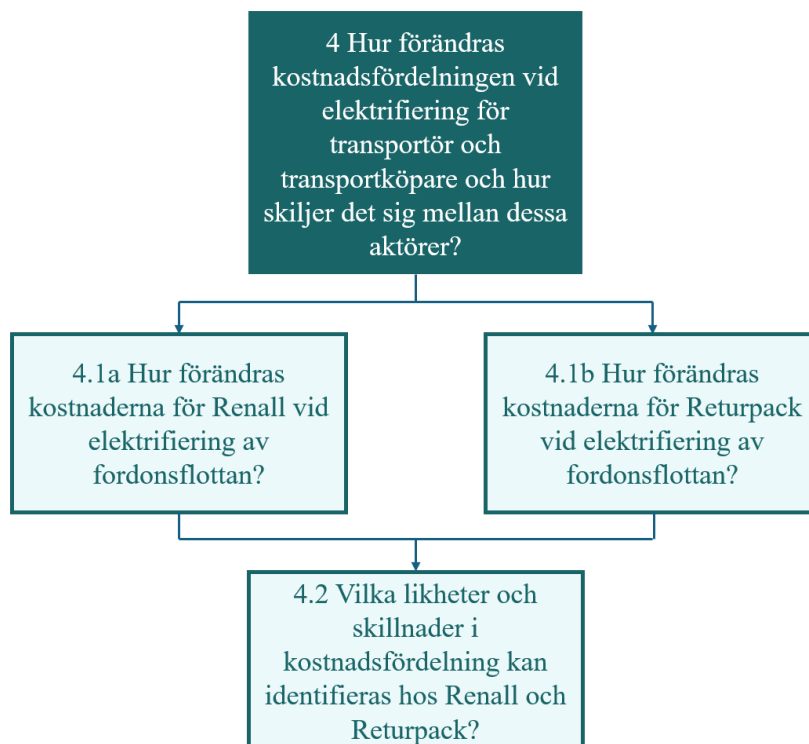
3.4 Vilka likheter och skillnader i genomförandet kan identifieras hos Renall och Returpack?

4.4 Huvudfråga 4

Som motiverat i inledningen är huvudfråga 4 följande:

Hur förändras kostnadsfördelningen vid elektrifiering för transportör och transportköpare och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?

Huvudfråga 4 delas in i de två underfrågorna 4.1 och 4.2 (*Figur 24*). Med utgångspunkt från de elektrifierade logistiksystemen och fordonsflottor samt dess laddstrategier som diskuteras i underfrågorna 3.1, 3.2 och 3.3 undersöks hur kostnader påverkas och förändras (*underfråga 4.1*). Sedan diskuteras likheter och skillnader mellan hur kostnadsfördelningen förändras för transportör jämfört med transportköpare (*underfråga 4.2*).



Figur 24: Den fjärde huvudfrågans underfrågor.

4.4.1 Underfråga 4.1

Tidigare TCO-analyser visar på en förändrad kostnadsstruktur hos elektrifierade lastbilar jämfört med lastbilar med förbränningsmotorer (Moll, et al., 2020). Bland annat påvisas högre inköpspriser (Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019; Teoh, 2022) och lägre driftkostnader (Basma, et al., 2022; Borlaug, et al., 2022; Moll, et al., 2020; Tanco, et al., 2019), men även osäkerhet kring batterikapaciteter (Basma, et al., 2022) samt hur och när fordonet ska laddas för att inte störa den operativa effektiviteten (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Det kan därför konstateras att företag kommer påverkas när kostnader förändras mellan kostnadsposter. För att kunna införa elektrifiering och skala upp till en högre andel krävs ekonomisk hållbarhet i form av lönsamhet. För att undersöka detta är det därför relevant att göra en TCO och jämföra hur kostnaderna förändras för elektrifierade lastbilar jämfört mot lastbilar med förbränningsmotor. Underfrågorna 4.1 blir således:

4.1a Hur förändras kostnaderna för Renall vid elektrifiering av fordonsflottan?

4.1b Hur förändras kostnaderna för Returpack vid elektrifiering av fordonsflottan?

4.4.2 Underfråga 4.2

Vid övergång till nya teknologier och elektrifierade fordon i synnerhet konstateras en förändrad kostnadsfördelning och ett behov av förändrade affärsmodeller (Kley, et al., 2011; Tongur & Engwall, 2014). Bland annat resonerar Uhrdin et al. (2023) att det krävs en förändring i

kontraktslängder för att minska risken för transportörer. Till följd av ökade investeringskostnader behövs även större finansiella resurser, något som inte alltid finns tillgängligt hos transportörer i den lågmarginalbransch de verkar i. Det kan medföra att finansiella resurser kan behöva flyttas mellan aktörer (Simm, 2024) och transportköpare kan således behöva betala mer för de utförda tjänsterna (Uhrdin, et al., 2023). Underfråga 4.2 formuleras därför som följande:

4.2 Vilka likheter och skillnader i kostnadsfördelning kan identifieras hos Renall och Returpack?

4.5 Sammanställning

De huvud- och underfrågor som formulerats sammanställs i *Tabell 10* nedan:

Tabell 10: Sammanställning av studiens huvudfrågor och underfrågor.

Hur kan en metodik utformas för uppskalning av elektrifiering med hänsyn till de nya förutsättningarna som elektrifieringen medför?
Hur kan det elektrifierade logistiksystemet utformas?
Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas?
Hur kan en laddstrategi utformas?
Hur ser nuläget ut för transportör och transportköpare och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?
Hur ser dagens logistiksystem ut hos Renall respektive Returpack?
Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Renall respektive Returpack?
Vilka likheter och skillnader kan identifieras hos Renall och Returpack?
Hur genomförs uppskalning av elektrifiering för transportör respektive transportköpare utifrån den utvecklade metodiken och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?
Hur kan Renall respektive Returpack utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?
Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Renall respektive Returpack?
Hur kan Renall respektive Returpack utforma sin laddstrategi?
Vilka likheter och skillnader i genomförandet kan identifieras hos Renall och Returpack?
Hur förändras kostnadsfördelningen vid elektrifiering för transportör och transportköpare och hur skiljer det sig mellan dessa aktörer?
Hur förändras kostnaderna för Renall respektive Returpack vid elektrifiering av fordonsflottan?
Vilka likheter och skillnader i kostnadsfördelning kan identifieras hos Renall och Returpack?

5 Metod

I följande kapitel redogörs för hur studien har utformats och genomförts. Metoden är indelad i de tre delarna: inledande fas, empirisk och analyserande fas samt utvärderande fas.

Patel och Davidson (2020) beskriver olika faser i en undersökning och poängterar att metodavsnittet utförligt bör förklara hur studien genomfördes. Det innefattar vilka personer och tekniker som användes vid informationsinsamling, eventuella felkällor, hur informationen bearbetades och analyserades samt vilka åtgärder som gjordes för att stärka studiens trovärdighet. För att möjliggöra detta har metodavsnittet delats in i tre olika områden (*Figur 25*). *Den inledande fasen* ämnar beskriva hur studiens syfte och frågeställningar utformades och hur inledande information av fallföretagen samt akademisk litteratur samlades in. *Den empiriska och analyserande fasen* beskriver i detalj hur och från vilka källor information samlades in samt diskuterar hur den insamlade informationen analyserats. Den sista *utvärderande fasen* sammanställer den insamlade och analyserade informationen och utifrån detta formas slutsatser.



Figur 25: De tre faserna av projektet.

Denna undersökning genomfördes som en komparativ fallstudie (Blomqvist & Hallin, 2015) där det undersöktes hur transportören Renall och transportköparen Returpack kan utforma strategier för elektrifiering och vad som skiljer dem åt. Blomqvist och Hallin (2015) uppger att fallstudier är fördelaktiga i den bemärkelse att mer detaljerad empirisk information kan fås och således ge en bättre förståelse för problemet i verkligheten. Detta gjorde att en fallstudie ansågs vara en lämplig typ av studie. Målet var att studiens resultat sedan skulle vara generaliserbart och användbart för andra aktörer, något som Patel och Davidson (2020) samt Blomqvist och Hallin (2015) diskuterar kan vara nåbart genom rätt utformning av fallen och att tillräckligt med information från flera exempel samlas in. De beskriver att fallen bör vara representativa för hela populationen och ge så täckande information som möjligt för att ett helhetsperspektiv ska fås. Detta uppnås genom att de två fallföretagen representerar aktörerna transportör och transportköpare, då det slutgiltiga resultatet påverkas av aktörers olika roller och förutsättningar.

Båda fallföretagen har ett starkt fokus på hållbarhetsarbete, vilket ses som en drivkraft mot en ökad andel elektrifierade fordon. Detta kan ha påverkat studiens resultat, då fallföretagen varit mer benägna att kompromissa för att uppnå en högre elektrifieringsgrad. Detta kan påverka studiens reliabilitet då en liknande studie med andra fallföretag kan ge andra resultat och

slutsatser vilket i sin tur begränsar studiens generaliserbarhet. Likaså sänks objektiviteten i studien då fallföretagens värderingar påverkar slutresultatet (Björklund & Paulsson, 2012).

Returpack tillhandahöll kontorsplatser för författarna som nyttjades i snitt två gånger i veckan. Dessa ansågs lämpliga att nyttja för att uppnå en nära relation till fallföretaget och få insyn i det dagliga arbetet. Patel och Davidson (2020) påpekar vikten av att samla in information av olika karaktär och genom att vara på plats kunde författarna lyssna och observera för extra informationsinsamling (Blomqvist & Hallin, 2015). Dessvärre fanns inte möjligheten till kontorsplatser hos Renall, utan de besöktes mer sporadiskt under inbokade intervjuer. Detta minskade möjligheten till liknande observationer hos Renall.

5.1 Den inledande fasen

Den inledande fasen bestod av att skapa förståelse för fallföretagen och utifrån dessa formulera ett övergripande syfte och frågeställningar för studien. Parallellt med detta skapades bakgrund och situationsbeskrivning. Därtill gjordes sökningar av akademisk litteratur för att skapa en referensram. Utifrån insamlad företagsspecifik information och referensram preciserades uppgiften och en metod utformades för det kommande arbetet. Dessa delar beskrivs mer ingående nedan.

5.1.1 Inledande informationsinsamling och utformning av studien

Formulering av syfte och frågeställning gjordes utifrån rekommendation från Patel och Davidson (2020) som påstår att syfte ska vara en övergripande beskrivning av vad studien ämnar uppnå, samtidigt som frågeställningen ska bryta ner syftet och vara mer specificerat. Syftet formulerades på ett sådant sätt att studien skulle få en allmän relevans för transportbranschen och inte enbart för de två fallföretagen. Då Patel och Davidson (2020) beskriver att en uppdelning av frågeställningen i frågor är det vanligaste sättet valdes detta alternativ. Huvudfrågorna formulerades på en generell nivå för att göra studien generaliserbar samtidigt som underfrågorna specifikt riktades mot fallföretagen då de efterfrågat specifika undersökningar riktade mot dem. Detta ansågs vara lämpligt då en fallstudie enligt Patel och Davidson (2020) ska undersöka specifika fallföretag men samtidigt utformas så att resultatet blir generaliserbart. Genom specifika underfrågor kunde sedan resultatet tolkas och generaliseras för att ge svar på huvudfrågorna.

I den inledande delen av arbetet genomfördes ostrukturerade intervjuer där fallföretagen och båda författarna deltog för att stämma av vilka önskemål och förväntningar som fanns på arbetet. Fallföretagen fick förbereda presentationer där de övergripande gick igenom sina verksamheter, framtidsvisioner och önskemål för studiens utformning och målbild. Detta gjordes utifrån rekommendationer från Blomqvist och Hallin (2015) som påstår att ostrukturerade intervjuer är lämpliga i ett tidigt stadie av en studie då det ger en förutsättningslös diskussion.

Syfte och frågeställningar reviderades flertalet gånger efter diskussion med handledare på Linköpings Universitet, fallföretagen samt extern konsult med specialistkunskap i branschen,

något som Blomqvist och Hallin (2015) påstår är vanligt förekommande och eftersträfvansvärt för att utforma en relevant studie. Detta ansågs vara en metod som stärkte studiens validitet då syfte och frågeställningar ska stämma överens med fallföretagens förväntningar (Blomqvist & Hallin, 2015).

För att skapa en initial förståelse och bygga ett kontaktnät med kunniga i branschen deltog författarna även på nätverksträffar vilka anordnades av aktörer med starkt intresse för elektrifiering i Östergötland. Genom dessa träffar kunde lämpliga intervjuobjekt identifieras vilket möjliggjorde att perspektiv från andra aktörer än fallföretagen kunde erhållas.

Under den tidiga delen av arbetet gjordes även en grundläggande kartläggning av fallföretagen genom semi-strukturerade intervjuer. När den insamlade informationen sammanställts skickades det över till företagen för genomläsning som fick möjlighet att lämna kommentarer om något var felaktigt eller missvisande, något som gjordes för att stärka studiens reliabilitet (Björklund & Paulsson, 2012).

5.1.2 Litteraturinsamling

En referensram skapades för att redovisa vilken kunskap som idag redan finns inom området och skapa en större förståelse för ämnet (Blomqvist & Hallin, 2015). Därtill skedde viss överinläsning som Blomqvist och Hallin (2015) förklarar är nödvändig för att författarna ska kunna skapa sig en större förståelse för ämnet och sedan förstå vad som är relevant för studien. Denna överinläsning gjordes genom sökning i databaser med generella sökord samt utgick från forskningsprojekt inom hållbarhet och elektrifiering som genomförts på Linköpings Universitet. Med utgångspunkt i de områden som togs upp i bakgrundsbeskrivningen samt inledande sökningar och kunskapsinhämtning grupperades kunskap in i olika ämnesområden, vilket rekommenderas av Patel och Davidson (2020). Det resulterade i områdena *Drivlinor för tunga fordon*, *Laddning*, *Utformning av ett elektrifierat logistiksystem* och *Kostnadsanalys*.

Patel och Davidson (2020) påpekar relevansen av att skapa en tydlig strategi för informationssökning och välja ut relevanta databaser att använda sig av. För att göra detta bokades först ett möte med handledare från Linköpings Universitetsbibliotek för att få hjälp med att strukturera upp litteratursökningen. Där erhöles förslag på lämpliga databaser och sökord samt en genomgång om användning av AI vid identifiering av lämpliga sökord. Även diskussion kring olika källtyper och vikten av att använda sig av peer-reviewed källor fördes för att säkerställa att de utvalda källorna skulle vara trovärdiga och hålla tillräckligt hög standard.

Efter överläggning ansågs databaserna Google Scholar, Linköpings Universitets egen databas UniSearch, IEEE Explore, Trid samt ScienceDirect vara lämpliga för den innevarande studien då de gav ett brett sökresultat samtidigt som de hade lämpliga filteringsval. Utöver det har IEEE Explore en särskild teknisk inriktning som ansågs extra lämpligt för området elektrifiering. Databaserna användes i olika omfattning där vissa databaser användes för kunskapsinhämtning hos författarna medan flest akademiska artiklar hämtades från UniSearch.

Patel och Davidson (2020) påpekar att det är lämpligt att först identifiera sökord. Sökord kopplade till elektrifiering identifierades med utgångspunkt i studiens syfte och frågeställningar för att generera ord med koppling till ämnet och som var relevanta utifrån det formulerade syftet. Med dessa sökord identifierades även synonymer som användes för att generera fler sökresultat. Genom diskussion med kunniga inom området kunde ytterligare aspekter identifieras som senare också användes som sökord vid litteratursökningen. Genom sökningar i databaser kunde även relaterade sökord identifieras genom att studera kategoriseringar och artiklars nyckelord. Även Microsoft Copilot användes som stöd i identifieringen av lämpliga sökord för att generera sökord kopplade till syftet och området elektrifiering samt utvidga författarnas kunskap inom området. Detta genom att be programvaran att generera sökord inom vissa delområden inom elektrifiering. Microsoft Copilot användes utifrån Linköping Universitets riktlinjer kring AI samt regelverk kring fusk och plagiering.

Sökorden kombinerades på olika sätt för att få olika sökresultat. Olika tekniker såsom begränsningar och booleska tecken, exempelvis *, AND och OR, användes för att precisera sökresultatet ytterligare (Karlsson & Grauers, 2023). Under litteratursökningen hölls en söklogg för att öka spårbarheten och transparensen i arbetet. Ett urval av söktermer redovisas i *Tabell 11* nedan. Den fullständiga sökloggen återfinns i *Bilaga A*.

Tabell 11: Urval av söktermer som användes för att söka i databaser efter lämpliga akademiska artiklar.

Område	Sökterm
Drivlinor hos tunga fordon	Electrification AND heavy trucks
Drivlinor hos tunga fordon	Heavy-Duty Vehicle Powertrain
Drivlinor hos tunga fordon	(AB (heavy-duty AND battery-electric)) AND (AB vehicle) AND (AB Compar*)
Laddning	(charging AND strateg*) AND (heavy AND truck)
Laddning	(charging AND infrastructure) AND (heavy AND truck)
Laddning	(EV charger) AND (three power level) AND review
Utformning av logistiksystem	(TI Electri*) AND (TI vehicle) AND (TI planning) AND (TI range)
Utformning av logistiksystem	optimizing AND routing AND electric vehicles
Utformning av logistiksystem	(AB (operational AND flexibility)) AND (AB (electric AND vehicles))
Kostnadsanalys	TCO AND (electric trucks)
Kostnadsanalys	(electric AND truck)) AND (investment)
Uppskalning	(business model innovation) AND (electric truck)

När sökningar gjordes kombinerades sökord tills träffresultatet visade ett mindre antal artiklar för att begränsa sökresultatet och sortera ut artiklar av rätt relevans. För dessa artiklar lästes abstrakten igenom för att avgöra om en viss artikel var lämplig och relevant för den innevarande studien och hade en tydlig koppling till elektrifiering av tunga transporter. För att säkerställa att källan var relevant togs därför hänsyn till vem författarna var och hur välciterade de var, till vem

källan riktade sig och om det fanns potentiell partiskhet och vinklad information samt om källan svarade på den frågeställning som eftersträvades (Patel & Davidson, 2020). van Velzen, et al. (2019) samt Patel och Davidson (2020) konstaterar även att de utvalda artiklarna ska vara up-to-date då utvecklingen inom området elektrifierade lastbilar går snabbt framåt, något som ansågs vara viktigt och togs i beaktning vid urvalet. Däremot användes även äldre källor i viss utsträckning med motiveringen att det finns flertalet modeller som är relevanta trots att de utvecklats längre tillbaka i tiden.

Utöver sökningar med nyckelord i litteraturdatabaser identifierades flertalet artiklar genom en systematisk metod där källor till artiklar studerades. Det innebar att om en artikel hänvisat till en annan artikel användes artikelns referenslista för att spåra upp originalkällan. Detta gjordes utifrån rekommendation av Blomqvist och Hallin (2015) som påstår att det är en lämplig metod för att genomföra källkritik och stärker källans trovärdighet. På samma sätt studerades även vilka och hur många andra artiklar som refererat till artikeln. På så sätt kunde nyare artiklar inom samma område identifieras.

5.1.3 Källvärdering och källkritik

För att säkerställa tillförlitligheten i de källor som användes tillämpades ett antal kriterier för att värdera dem. Informationsinsamlingen skedde främst genom akademiska peer-reviewed artiklar eller konferenshandlingar. Detta gjordes på grund av att Blomqvist och Hallin (2015) motiverar vikten av att använda sig av artiklar som är granskade av andra forskare för att säkerställa trovärdigheten i källan. Därtill hade författarna till studien ett kritiskt förhållningssätt till de utvalda artiklarna som granskades och ifrågasattes löpande under arbetets gång (Blomqvist & Hallin, 2015).

Patel och Davidson (2020) såväl som Blomqvist och Hallin (2015) påpekar även behovet av triangulering och artiklar med liknande ämnesområden jämfördes med varandra för att validera att källorna var lämpliga och pålitliga. Komplettering med forskningsrapporter från exempelvis VTI och Skogsstyrelsen gjordes för att erhålla ett bredare perspektiv och validera insamlad information. Dessa komplementära källor kan enligt van Velzen, et al. (2019) vara godkända att använda om de är erkända av branschen, det vill säga att källan är publicerad av en organisation med gott rykte i branschen.

Blomqvist och Hallin (2015) poängterar även att det är viktigt att granska vem som är författare av källan och om den står i beroendeställning till någon eller något. Bland annat kan det finnas ekonomiska eller politiska faktorer som påverkar en studies slutresultat. Detta hade författarna i åtanke när källor valdes ut. Extra stor vikt lades vid detta när kompletterande forskningsrapporter från myndigheter och forskningsinstitut användes. Det gjordes då dessa inte är peer-reviewed och således krävdes extra granskning för att stärka dess validitet och reliabilitet (Blomqvist & Hallin, 2015).

5.2 Den empiriska och analyserande fasen

Syftet med den empiriska fasen var att beskriva nuläget i studien samt samla in underlag för analysen. Nuläget undersöktes med stöd av Björklund & Paulsson (2012) som redogör för vikten av att sanningsenligt presentera nuläget för att skapa en syftesdriven analys som passar situationen. Det stöds av Blomqvist och Hallin (2015) vilka förklarar vikten av att förstå miljön som studeras. Den data som samlades in i den empiriska fasen byggde på intervjuer med Returpack och Renall. Utöver genomförda intervjuer samlades underlag från Returpack, Renall och fordonstillverkarna in. Detta beskrivs mer detaljerat i avsnitt 5.2.2 Metod för respektive underfråga nedan.

5.2.1 Insamling och analys av kvalitativ information

Vid insamling av kvalitativ information hölls semi-strukturerade intervjuer för att säkerställa validiteten genom studerade av rätt sak (Blomqvist & Hallin, 2015) men samtidigt uppmuntra till improvisation och följdiskussioner. Dessa baserades på Blomqvist och Hallins (2015) metod vilken innebär att temat för intervjun ska vara bestämt på förhand och att ett antal frågor eller områden utformats. Fördelen som sågs med intervjuer var att intervjuarna kunde ställa följdfrågor, något som enligt Björklund & Paulsson (2012) bidrar till en djupare förståelse. Intervjuerna eftersträvades att genomföras på respondentens arbetsplats för att en trygg miljö för denna ska erhållas. Några intervjuer genomfördes digitalt via Microsoft Teams. Under intervjuerna deltog båda författarna aktivt för att fler följdfrågor skulle kunna ställas och öka flytet i samtalet. Dock fördes vissa anteckningar som komplement på rekommendationer av Blomqvist och Hallin (2015). Att båda författarna deltog under intervjuerna bidrog även till att stärka validiteten av samtalen, något som Blomqvist och Hallin (2015) resonerar ökar trovärdigheten av en studie.

Under intervjuer och insamling av dokument följdes fyra forskningsetiska principer presenterade av Blomqvist och Hallin (2015). Detta för att säkerställa att studien genomfördes på ett etiskt korrekt sätt. Dessa fyra principer redovisas i Tabell 12 nedan. I enlighet med GDPR anonymiserades respondenterna på ett sådant sätt att den presenterade informationen inte skulle gå att spåras till en enskild individ. Intervjupersonerna fick själva välja om företagsnamnet skulle presenteras eller anonymiseras.

Tabell 12: De fyra forskningsetiska principerna. Källa: Blomqvist och Hallin (2015).

Etisk princip	Beskrivning
Informationskravet	Intervjuobjektet ska informeras om studiens syfte
Samtyckeskravet	Intervjuobjektet ska ge sitt samtycke att delta i studien.
Konfidentialitetskravet	Den information som framkommer på intervjun ska behandlas konfidentiellt.
Nyttjandekravet	Den informations som framkommer på intervjun ska enbart användas till den innevarande studien.

Urvalen för intervjuobjekten genomfördes antingen genom enligt vad Blomqvist och Hallin (2015) benämner som proportionellt stratifierat urval eller icke-slumpmässigt urval. Vid proportionellt stratifierat urval valdes personer med en viss grupptillhörighet ut, exempelvis *samtliga medarbetare med rollen transportplanerare & driftledare hos Renall*. Ur dessa grupper valdes sedan personer slumpmässigt.

De icke-slumpmässiga urvalsobjekten motiverades med att de underlättade empiriinsamlingen (Blomqvist & Hallin, 2015). Urvalet innebar att författarna valde de personer som utifrån deras arbetstitel, arbetsuppgifter och förväntade kunskaper ansågs mest lämpade att bevara frågeställningen samt frivilligt ställde upp. Resultatet av dessa användes dock med försiktighet som komplementär information, då det inte var möjligt att säkerställa att resultatet representerade helheten.

Tematisk analys användes sedan för att sortera och strukturera den information som samlats in på intervjuer och således förenkla arbetet med empiri och analysavsnittet. I enlighet med Blomqvist och Hallins (2015) beskrivning om tematisk analys kategoriserades först det insamlade intervjumaterialet med färgkodning för att sedan enklare kunna sorteras. Hur teman bestämdes varierade mellan olika underfrågor, men utgick ofta utifrån tidigare insamlad litteratur, frågeställningar och från den information som intervjuobjekten framförde. När informationen kategoriserats efter utvalda teman sorterades och studerades denna ytterligare för att identifiera mönster inom varje kategori. Detta användes sedan för att återge och använda informationen i den vidare studien.

5.2.2 Metod för respektive underfråga

Nedan följer specifik information kring hur respektive underfråga besvarades.

Underfråga 1.1: Hur kan det elektrifierade logistiksystemet utformas?

För att besvara underfråga 1.1 studerades först de identifierade förändrade förutsättningarna i Avsnitt 3.5.1 Förändrade förutsättningar som studeras vidare och hur ett logistiksystem bör utformas för att hantera dessa. Det resulterade i tre grundpelare som logistiksystemet bör ämna att uppnå för att hantera de förändrade förutsättningarna. Identifiering av grunderna genomfördes med stöd av referensramen. Därefter analyserades de utvalda lösningarna från 3.5.2 Lösningar som studeras vidare. De lösningar som bidrog till att grunderna stärktes identifierades och sammanställdes därefter för respektive grundpelare. Identifieringen genomfördes genom bedömning av lösningens effekt på logistiksystemet utifrån beskrivningar i referensramen.

Underfråga 1.2: Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas?

Metodiken för hur fordonsflottan kan utformas skapades ur val av batterikapacitet, eftersom det är viktigt att välja rätt batterikapacitet för uppdraget vid elektrifiering av fordonsflottan (Basma, et al., 2022; Burke, et al., 2023; Lindbom, et al., 2024; Leonard, et al., 2022). En metodik för hur detta genomfördes skapades genom referensramens insamlade information och logiskt resonemang. Metodiken tog utgångspunkt i att ett batteri med lägre batterikapacitet är billigare för inköp och att det således bör väljas i första hand så länge kostnader för mellanladdning under rutt inte överstiger kostnaden för att uppgradera till ett större batteri. Enligt Karlsson & Grauers (2023) är det vanligare med publik laddning vid mindre batterier vilket är dyrare än depåladdning. Därför skapades en dynamisk ekonomisk jämförelse som ämnar att identifiera brytpunkten för hur mycket publik laddning som ett litet batteri kan tillämpa innan de ökade driftkostnaderna överskrider mellanskillnaden mot ett större batteri. Val av parametrarna för den ekonomiska analysen genomfördes med stöd av referensramen.

Underfråga 1.3: Hur kan en laddstrategi utformas?

Utifrån litteratursammanställningarna kring laddstrategier i referensramen kunde strategier väljas ut som ansågs lämpliga att inkludera i en modell. Som vertikal grund för modellen användes fördelningen *return to base* och *on route* definierad av Al-Hanahi et al. (2021). Detta då det gav en tydlig uppdelning i att en laddstrategi bör skilja sig när laddning sker mellan rutter och under rutter. För dessa två strategier valdes sedan en horisontell indelning utefter författarnas egna resonemang. Det resulterade i kategorierna *vad*, *när*, *hur* och *vart* som gav en heltäckande bild av vad som bör inkluderas vid utformning av strategi. Till sist ansågs indelningen *schedule based* och *trigger based* definierad av Teoh (2022) vara relevant att inkludera då den ger vägledning kring hur beslut ska tas. Det ansågs vara ett lämpligt komplement till tidigare fördelningar som snarare anger vilka beslut som ska tas.

Underfråga 2.1: Hur ser dagens logistiksystem ut hos Renall respektive Returpack?

Underfråga 2.2: Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Renall respektive Returpack?

Den andra huvudfrågan utreddes separat för respektive företag med undantag för de fyra lastbilar som Renall har på uppdrag av Returpack där överlapp förekommer. Metoden för respektive företag beskrivs i avsnitten nedan. Genomförandet för underfråga 2.1 och 2.2 överlappar och presenteras därmed gemensamt nedan.

Renall

Genom proportionellt stratifierat urval intervjuades 6 chaufförer och 5 personer på transportplaneringsavdelningen på Renall (*Tabell 13*) för att erhålla en samlad bild av hur fordonsflottan, körkaraktistik och den dagliga planeringen såg ut i nuläget. Intervjuerna ämnade även att bedöma förändringsviljan och inställningen till elektrifieringsresan hos företagets medarbetare. Intervjuerna med chaufförerna och transportplaneringsavdelningen genomfördes som semi-strukturerade intervjuer med färdigt frågeunderlag (se *Bilaga B* och *Bilaga C*). Frågeunderlagen användes för att säkerställa att intervjuerna höll rätt ämnesfokus och att inga delar missades. Samtidigt användes det semi-strukturerade upplägget för att uppmuntra intervjuobjekten att delge egna tankar som inte täckts upp av det förskapade frågeunderlaget. Ovan nämnda intervjuer bedömdes påverkas av tendens, vilket enligt Blomqvist och Hallin (2015) kan innebära att respondenten kan vilja framställa situationen utifrån egen åsikt. Detta ämnades motverkas genom de standardiserade frågeunderlagen där frågorna formulerats på ett sådant sätt att de besvarades på historisk erfarenhet fri från åsikter och spekulationer.

Tabell 13: Intervjuobjekt för genomförda intervjuer hos Renall för informationsinsamling till underfråga 2.1 och 2.2.

Roll
Hållbarhetschef, platschef, driftledningschef
Chaufför kombibil
Chaufför liftdumper
Chaufför kranbil
Chaufför frontlastare
Chaufför lastväxlare
Chaufför kranbil
Driftledare kran, maskin och Returpacksbilar
Transportplanerare slam- och spolbussar samt torrsug
Driftledare container
Driftledare kommunala entreprenader
Driftledare farligt avfall och 3-facksbilar

Utöver intervjuer genomfördes kvantitativ dokumentinsamling från Renall i samråd med platschefen och driftledningschefen, vilken visade hur fordonen användes i dagsläget för att besvara underfråga 2.1 och 2.2. Data erhöles för 13 av Renalls fordon, vilka i samråd med personal i chefsroller på Renall antogs ge en representativ bild av hela Renalls fordonsflotta. Från Renalls olika IT-system inhämtades tankhistorik, mätarställning och orderstatistik för mars, april och maj år 2023. Månaderna valdes i samråd med Renall med syfte att identifiera de månaderna där efterfrågan var som högst under föregående år. Efterfrågad data erhöles i Excel-filer, där platschefen och driftledningschefen sållade bort icke-eftersfrågad data enligt önskemål innan leverans till författarna. För Renalls returpacksbilar erhöles data från Returpack, vilket beskrivs djupare i nästa avsnitt.

Utifrån insamlade data kring tankhistorik och mätarställningar gjordes visuella analyser på dataseten för att undersöka eventuella felkällor. Med hänsyn till den mänskliga faktorn av att chaufförer manuellt fyller i mätarställningen kan leda till en felkälla rensades först de data som ansågs orimliga. Med utgångspunkt i den erhållna orderstatistiken rensades därefter dagar då fordonen var stillastående bort. Då oklarheter i den kvantitativa datan uppkom gjordes avstämmningar med platschef och driftledningschef för att reda ut orsaker och säkerställa den vidare analysens validitet och reliabilitet. Med hänsyn till att den erhållna datan hade varierande karakteristik för de olika fordonstyperna användes olika beräkningsmetoder (*Tabell 14*). Där mer detaljerade data erhöles kunde bränsleförbrukningsberäkningar för respektive dag genomföras. Detta benämns nedan som *dag* och beräkningarna presenteras i Ekvation (2). I andra fall erhöles endast data per tankcykel, och där behövdes ett snitt av tankcykelns bränsleförbrukning tas för att få ut ett snittförbrukning per dag. Detta benämns nedan som *tankcykel* och beräkningarna presenteras i Ekvation (3). Önskvärt var att tillämpa metoden *dag* då det till följd av att metoden *tankcykel* baseras på medelvärde därmed ger skenet av att energiförbrukningen mellan dagarna är jämnare än vad det potentiellt är i verkligheten. Vid tillämpning av *tankcykel* jämnas eventuella toppar ut och laddbehovet kan därmed framstå som lägre än det verkliga. Tillämpningen av *dag* begränsas dock av informationen som inhämtades från orderstatistiken, då detta för vissa fordon inte bidrog till information om antalet uppdrag eller körd sträcka per dag.

Tabell 14: Olika beräkningsmetoder användes för olika fordonstyper.

Kategori	Metod för energiberäkning
Torrsug	Tankcykel
Kombibil	Tankcykel
Slambil	Tankcykel
Lastväxlare	Dag
Liftdumper	Dag
Frontlastare	Tankcykel
Kranbil	Tankcykel
Sopbil	Tankcykel
Returpacksbil	Rutt (se beräkningar för Returpack nedan)

Följande beräkningar utformades av författarna själva och syftar till att beräkna respektive fordons dagliga energibehov. För att möjliggöra beräkningar sammanställdes körkaraktistiken per fordon, vilket motsvarades av körd sträcka och bränsleförbrukning per dag samt kvalitativ uppdragskaraktistik och geografisk lokalisering. Den geografiska lokaliseringen gav körd sträcka under respektive dag. Sträckan användes för att utreda hur körd sträcka varierar under en tankcykels olika dagar. Beräkningar för bränsleförbrukning per dag presenteras i Ekvation (2).

$$\text{Bränsleförbrukning} \left[\frac{l}{dag} \right] = \frac{\text{Körd sträcka dag} \left[\frac{km}{dag} \right]}{\text{Körd sträcka tankcykel} \left[\frac{km}{tankcykel} \right]} * \text{Bränsleförbrukning} \left[\frac{l}{tankcykel} \right] \quad (2)$$

För de fordon som transportplaneras av Renalls kunder saknades geografisk lokalisering vilket innebar att bränsleförbrukning per dag erhöles genom ett medelvärde för bränsleförbrukningen i respektive tankcykel. Här kunde ingen hänsyn tas till att bränsleförbrukningen kan variera mellan olika dagar under en tankcykel. Beräkningen för genomsnittlig daglig bränsleförbrukning under en tankcykel presenteras i Ekvation (3).

$$\text{Bränsleförbrukning} \left[\frac{l}{dag} \right] = \frac{\text{Bränsleförbrukning} \left[\frac{l}{tankcykel} \right]}{\text{Antal arbetsdagar} \left[\frac{antal}{tankcykel} \right]} \quad (3)$$

Bränsleförbrukningen omvandlades till energiförbrukning per dag genom energiinnehåll i drivmedlet hämtat från Energimyndigheten (2023). Det multiplicerades med motorns verkningsgrad för att inte inkludera energiförbrukning som resulterar i exempelvis spillvärme, eftersom en elmotor inte genererar någon spillvärme. Verkningsgraden beror på drivmedel och dess värde erhöles från litteratursammanställningen. Då verkningsgraden i litteraturen presenteras i intervall tillämpades intervalllets övre värde, då det innebar en överskattning. För biogasfordon användes verkningsgraden 40% och för fordon som drivs med HVO användes verkningsgraden 45%. Beräkningen presenteras i Ekvation (4).

$$\text{Energiförbrukning} \left[\frac{kWh}{dag} \right] = \text{Bränsleförbrukning} \left[\frac{l}{dag} \right] * \text{Energiinnehåll drivmedel} \left[\frac{kWh}{l} \right] * \text{verkningsgrad motor} [\%] \quad (4)$$

Returpack

Hos Returpack genomförde författarna observationer från transportplaneringens dagliga arbete under introduktionsarbetet, vilket enligt Patel och Davidson (2020) är användbart när information om beteenden och händelser i naturliga situationer efterfrågas. Det bedömdes vara en passande metod då även känslouttryck och relationer önskades samlas in. Dessutom genomfördes intervjuer med medarbetare på logistikavdelningen (*Tabell 15*). Dessa valdes utifrån ett strukturerat urval med syfte att intervjua de personerna med störst överblick över

fordonsflottan samt de personer med störst överblick över körkaraktärstiken, optimeringssystemet och den dagliga verksamheten.

Tabell 15: Genomförda intervjuer hos Returpack för informationsinsamling till underfråga 2.1 och 2.2.

Roll
Logistikutvecklare (system, analys)
Gruppchef transportledning
Logistikutvecklare (fordon, bränslen, lastbärare, miljö)

Utöver intervjuer och observationer genomfördes kvantitativ dokumentinsamling på ruttdata från Returpack i samråd med gruppchef över transportplanering. Det visade geografisk lokalisering, körsträcka till vardera stopp, total körsträcka per rutt och tidsloggar. Det fanns två varianter av scheman; hög- respektive lågsäsong. Högsäsongsschemat användes i första hand, medan lågsäsongsschemat användes som komplement i de fall då energiförbrukningen från lågsäsongsschemat översteg sommarschemat. Det kompletterades med bränsleförbrukning, vilket presenterades som ett genomsnitt per månad. Efterfrågad data erhöles i Excel-filer som hämtades ur företagets ruttoptimeringssystem, där gruppchefen över transportplaneringen sållade bort icke-eftersfrågad data enligt önskemål innan leverans till författarna. Som komplement erhöles kartbilder över de studerade rutterna för att ge en tydligare visualisering av dessa. Även kartbilderna hämtades från företagets ruttoptimeringssystem.

De insamlade ruttschemana utgick från planerade rutter. Dessa studerades med anledning av att denna data ansågs vara säkrare och inte påverkats av mänskliga felkällor, något som kunde förekommit om utförda rutter studerades. Då Returpacks scheman rullar på två veckor erhöles upp till 14 individuella rutter per fordon. Ruttens totala energiförbrukning erhöles genom Ekvation (5) som skapats av författarna. Bränslets energiinnehåll hämtades från Energimyndigheten (2023). Verkningsgraden beror på drivmedel och dess värde erhöles från litteratursammanställningen. Då verkningsgraden i litteraturen presenteras i intervall tillämpades intervallets övre värde, då det innebar en överskattning. För biogasfordon användes verkningsgraden 40% och för fordon som drivs med HVO användes verkningsgraden 45%. Kraftuttagens energiförbrukning erhöles från påbyggnadsleverantörernas specifikationer på energiförbrukning per kraftuttag. Då erhöles ett snitt som räknades upp till en konstant på 20kWh och adderades till respektive rutt.

$$\begin{aligned}
 \text{Energiförbrukning} \left[\frac{kWh}{\text{rutt}} \right] &= \text{Sträcka} \left[\frac{km}{\text{rutt}} \right] * \text{Bränsleförbrukning} \left[\frac{l \text{ eller } kg}{km} \right] * \\
 &\text{Energiinnehåll drivmedel} \left[\frac{kWh}{l \text{ eller } kg} \right] * \text{verkningsgrad motor} [\%] + \\
 &\text{Energiförbrukning kraftuttag per rutt} \left[\frac{kWh}{\text{rutt}} \right] \quad (5)
 \end{aligned}$$

Då bränsleförbrukningen som hämtades från Returpacks system manuellt fylls i av leverantörerna själva var det en sekundärkälla. För att säkerställa trovärdigheten av dessa

utreddes metoden för hur dessa siffror togs fram. Det genomfördes genom en stickprovskontroll med platschefen hos Renall, vilka representerar en av primärkällorna för den studerade datan. Genom detta säkerställdes reliabiliteten och validiteten i datainsamlingen trots att data erhöles genom en sekundär källa (Blomqvist & Hallin, 2015). Renall valdes av tidsbesparande anledning, det vill säga ett bekvämlighetsurval (Blomqvist & Hallin, 2015).

2.3 Vilka likheter och skillnader kan identifieras hos Renall och Returpack?

Med utgångspunkt ur det framtagna innehållet i underfråga 1.1a och 1.1b identifierades likheter och skillnader mellan Renall och Returpack genom en tematisk analys. Likheter och skillnader kan vara oändligt många i antal och därför valdes några teman ut för vidare analys enligt rekommendation av Miles och Huberman (1994). Med hänsyn till att denna identifiering ämnades ligga till grund för senare underfrågor valdes dessa teman utifrån frågeställningarna i huvudfråga 2 och 3. Detta för att säkerställa relevansen av utvalda teman. Dessa teman presenteras i *Tabell 16* nedan. För att redogöra för likheter och skillnader på ett så tydligt sätt som möjligt presenterades dessa i en tabell. För uppdragens geografiska utbredning inhämtades information från intervjuer för Renall och planerade rutter för Returpack. Då den allra största delen av Returpacks fordon antogs tillhöra en och samma kategori, skapades därmed en extra kategori för att tydligare se hur karakteristiken skiljer sig mellan fordonen, därmed skiljer sig kategoriseringen enligt nedan. Då det finns flera anledningar för ett fordon att återkomma till depån under rutt skiljer sig anledningarna åt mellan Renall, där plats för lunch studeras, och Returpack, där andelen rutter med mellantömning per fordon studeras.

Tabell 16: Använda teman vid identifiering av likheter och skillnader.

Teman likheter och skillnader	Kategorisering
Ett fordons uppdrag per dag	1-5, 6-15, 16-25, 26-50, 51-
Uppdragens geografiska utbredning	Lokal, regional, fjärrtransport Lokal, regional lång, regional kort, fjärrtransporter
Fordon med förplanerad rutt	Ja, nej
Chaufförens upplevda flexibilitet	Låg, medel, hög
Akuta uppdrag	Låg, medel, hög
Andelen återkomst till depå under rutt: Plats för lunch (Renall)	Depå, på rutt, blandat
Andelen rutter med mellantömning per fordon (Returpack)	0-25%, 26-50%, 51-75%, 76-100%

Resultatet av den tematiska analysen kvantifierades i möjlig grad för att sedan presenteras visuellt. För att resultatet skulle vara jämförbart mellan fallföretagen presenterades det kvantitativa resultatet som procentuell fördelning, enligt rekommendation av Miles och Huberman (1994). Utifrån likheter och skillnader fastställdes fallföretagens karakteristik för att bidra till förståelse hur ett företags logistiksystem och fordonsflotta påverkar elektrifiering av

tunga transporter. Analysen bidrog till förståelse för hur företagsspecifika förutsättningar påverkade resultatet i huvudfråga 3 och 4.

3.1 Hur kan Renall respektive Returpack utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?

För att undersöka hur företagen kan anpassa sig till de nya förutsättningarna och utveckla ett elektrifierat logistiksystem utreddes fallföretagens möjligheter med hjälp av metodiken utvecklad i underfråga 1.1. Metodiken tog utgångspunkt ur föreslagna lösningar från sammanställningen i referensramen och dessa applicerades på fallföretagens unika situation från underfråga 2.1 och 2.2, därefter bedömdes lämpligheten av dessa lösningar.

Därtill genomfördes en semi-strukturerad avstämning med en extern logistikkonsult för att förutsättningslöst stämma av metodiken, dess applicering och generera nya idéer som författarna inte tidigare tänkt på. Även en semi-strukturerad intervju genomfördes med ett datainsamlingsföretag (Vialumina), vilka fokuserar på datainsamling för att möjliggöra faktadrivna beslut inom transportbranschen. Detta för att undersöka möjligheten för datainsamling och datadelning, men även för att erhålla kunskap om system på marknaden. Den information som erhöles från intervjun vävdes in och nyttjades för att besvara underfrågan.

3.2 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Renall respektive Returpack?

Statistiska analyser av energiförbrukning och körd sträcka per dag (Renall) eller rutt (Returpack) genomfördes för att underlätta författarnas arbete med identifiering av lämplig batterikapacitet (Blomqvist & Hallin, 2015). Detta gjordes genom lägesmättet medelvärde och spridningsmåttets standardavvikelse och maximalt värde utifrån metod presenterad av Blom et al. (2005) samt Patel och Davidson (2020).

Erhållen energiförbrukning från vinterscheman hos Returpack räknades därefter upp med 20% för att inkludera en ökad energiförbrukning vintertid. Detta valdes i enlighet med logistikavdelningen på Returpack och utifrån forskning av Mareev et al. (2017). Med hänsyn till att vintern varar längre i norra Sverige användes olika många vinter- och sommarveckor för områden i norra och södra Sverige. För Renalls fordon exkluderades detta efter överenskommelse med en medarbetare med chefsposition. En uppräkningsfaktor för energiförbrukningen under våren ansågs därmed inte vara representativt för vintern och skulle således leda till överdimensionering, något som Al-Hanahi et al. (2021) framhåller bör undvikas. Uppräkningsfaktorn för topografi exkluderades då detta inkluderades i bränsleförbrukningen från körkaraktistiken. Uträkning av behövd batterikapacitet under vintern skapad av författarna kan ses i Ekvation (6) nedan.

$$\text{Behov av batterikapacitet} = \text{Energiförbrukning} * \text{Uppräkningsfaktorer för vinter} \quad (6)$$

Fördelningen av behov av batterikapacitet sammanställdes över studerad period och matchades sedan mot en fordonstillverkarens erbjudande för aktuell fordonstyp. För att inkludera rekommendationer för hur ett batteri bör laddas jämfördes behov av batterikapacitet med

batteriernas tillgängliga kapaciteter som fordonstillverkaren angett. I de fall där erbjudande hos aktuell fordonstillverkare saknades för fordonstypen antogs erbjudande för en annan liknande fordonstyp. Då det finns risker med att utforma dimensioneringen utifrån att fordonen återkommer till depå med helt uttömt batteri tillämpades en säkerhetsmarginal på 10% i samråd med fallföretagen. Detta presenteras i Ekvation (7) nedan. I säkerhetsmarginalen inkluderas även uppräkningsfaktorn för batteriförsämring enligt önskemål från Returpack, då de inte önskar att överdimensionera batterikapaciteten. Returpack motiverar det med att de nuvarande rutterna inte är utformade efter de förutsättningar som följer med elektrifiering och tror sig därmed kunna minska energibehovet per rutt genom anpassningar av logistiksystemet och rutterna.

$$\text{Jämförd batterikapacitet} = \text{Tillgänglig batterikapacitet} * \text{Säkerhetsmarginal (7)}$$

Den jämförda batterikapaciteten jämfördes med behov av batterikapacitet för att undersöka hur mycket fordonen skulle behöva mellanladda under pågående rutt. Denna jämförelse genomfördes för alla studerade fordon, både högsäsong- och lågsäsongsscheman samt för alla utvalda batterikapaciteter. Det resulterade i en kvot av andel mellanladdning som skulle behövas för att kunna använda ett visst batteri. Denna kvot användes som ingående parameter i en ekonomisk jämförelse som undersökte om det var lämpligt att välja ett större batteri eller ett mindre batteri med högre andel laddning under rutt. Den ekonomiska analysen utvecklades genom att jämföra kostnaden att uppgradera till en större batterikapacitet med kostnaden för att mellanladda för att avgöra hur många gånger mellanladdning skulle behöva ske för att ett större batteri skulle vara lönsamt. Det slutgiltiga valet kring storlek på batteri utgick både från vilket batteri som var billigast i den ekonomiska analysen samt bedömning av genomförbarheten utifrån rutten, tillgänglig laddinfrastruktur och fordonets karakteristik.

3.3 Hur kan Renall respektive Returpack utforma sin laddstrategi?

Genom beräknad energiförbrukning, geografisk lokalisering och återkomst till depå var det möjligt att identifiera möjliga tillfällen för laddning. Skillnaden mellan *energiebehovet per rutt* och *jämförd batterikapacitet* resulterade i dagligt laddbehov under rutt, vilket möjliggjorde för författarna att beräkna behovet av andelen laddning på depå och publika stationer. Laddinfrastruktur under en kapacitet på 150kW ansågs vara bristfällig då mellanladdning vid dessa skulle ta för lång tid. Information om laddinfrastruktur hämtades från VTI:s sammanställning på hemsidan drivmedela.se, vilken presenterar befintliga och planerade laddstationer. Dock saknades möjligheten att undersöka om laddstationerna var anpassade efter större lastbilar. Det innebär att inga slutgiltiga rekommendationer om var laddning bör genomföras kunde fastställas. I stället presenterade författarna alternativ för plats för laddning, något som fallföretagen bör undersöka vidare inför driftsättning. Likaså fördes resonemang gällande tidpunkt när laddning bör ske och alternativa arbetsuppgifter under pågående laddning. Denna del bestod av kvalitativt resonemang utifrån information presenterad i referensramen. Moment i laddstrategierna som var gemensamma för båda fallföretag sammanställdes sedan i tabeller om presenterades i rapporten.

3.4 Vilka likheter och skillnader i genomförandet kan identifieras hos Renall och Returpack?

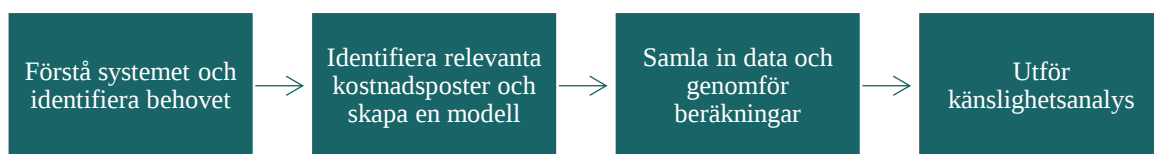
Genom en tematisk analys av underfrågorna 3.1a, 3.1b, 3.2a, 3.2b, 3.3a och 3.3b identifierades likheter och skillnader i genomförandet av uppskalning mellan Renall och Returpack. De teman som användes valdes utifrån innehållet i metodiken. Dessa teman presenteras i *Tabell 17* nedan. Vid identifierade likheter och skillnader genomfördes kopplingar till företagens karakteristik.

Tabell 17: Använda teman vid identifiering av likheter och skillnader hos Renall och Returpack.

Teman likheter och skillnader
Lösningar som fallföretagen rekommenderas för att utforma ett elektrifierat logistiksystem
Begränsande faktorer för utjämning av energiförbrukningen
Rekommenderade tekniker för utjämning av energiförbrukningen
Fördelningen mellan batteri 1 och batteri 2
Laddstrategi

Underfråga 4.1: Hur förändras kostnaderna för Renall respektive Returpack vid elektrifiering av fordonsflottan?

För att avgöra hur kostnader förändras behövdes en strukturerad analys genomföras som tog hänsyn till elektrifiering och de specifika fallen hos Renall och Returpack. Hurkens (2006) resonerar att TCO är en lämplig metod att använda sig av vid elektrifiering då den täcker kostnader under en produkts livslängd. TCO ansågs därför vara lämpligt och metoden för denna utgick från en kombination av den metod som presenterats av Abrahamsson och Aronsson (1999) samt Ellram (1993). Denna metod redovisas i *Figur 26* nedan.



Figur 26: Metod för TCO hos Renall och Returpack.

Förstå systemet och identifiera behovet

Det första steget bestod av att förstå systemet och identifiera behovet. Förståelse för systemet skapades med hjälp av situationsbeskrivningen samt huvudfrågorna 2 och 3. För att identifiera vad kostnadsanalysen skulle uppnå för syfte och behov hölls även avstämningar med ekonomiavdelningen på Renall och logistikavdelningen på Returpack. Detta då det är dessa avdelningar hos respektive företag som är involverade i inköp av nya fordon. Dessa avdelningar hade dessutom efterfrågat en uppskattning på vad byte till elektrifierade lastbilar skulle kosta.

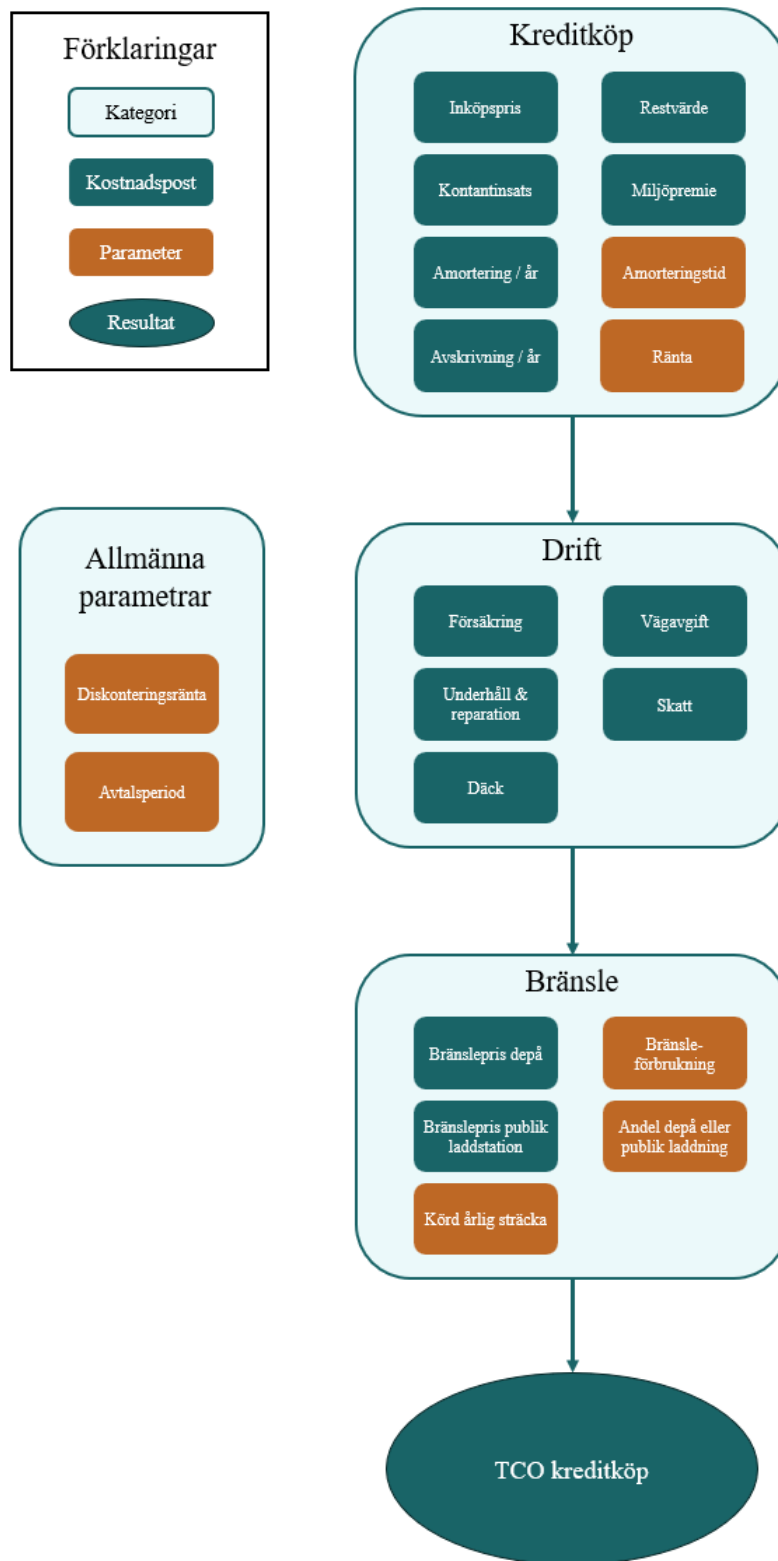
Identifiera relevanta kostnadsposter och skapa en modell

Det andra steget bestod först av att identifiera relevanta kostnadsposter. Patel och Davidson (2020) nämner behovet av att samla in information av olika karaktär och därför kombinerades information presenterad i referensramen och kunskap insamlad från intervjuer för att identifiera relevanta kostnadsposter. Semi-strukturerade intervjuer hölls med ekonomiavdelningen på Renall och logistikavdelningen på Returpack (*Tabell 18*). Dessa intervjuobjekt valdes ut genom ja-sägarurval.

Tabell 18: Genomförda intervjuer för identifiering av kostnadsposter.

Intervjuobjekt
CFO Renall
Logistikutvecklare Returpack
Logistikchef Returpack

van Velzen et al. (2019) kategoriserar kostnadsposter och använder sig av engångskostnader och återkommande kostnader medan Ellram (1993) konstaterar att kostnader kan vara förtransaktionella, transaktionella eller eftertransaktionella. Dessa exempel på kategoriseringar inspirerade författarna till att dela in de utvalda kostnadsposterna i tre olika kategorier visualiserat i *Figur 27* nedan. Därtill fanns de allmänna parametrarna diskonteringsränta och avtalsperiod som genomsyrade hela kostnadsanalysen. Kostnaderna i respektive kategori summerades sedan och gav ett totalresultat.



Figur 27: Visualisering av kategorisering av de kostnadsposter och parametrar som använts i kostnadsanalysen.

I referensramen (*Tabell 3, Tabell 4, Tabell 5 och Tabell 6*) sammanställdes kostnadsposter och tillhörande parametrar utifrån kostnadsanalyser gjorda av Basma et al. (2022), Dimanchev et al. (2023), Moll et al. (2020) och Tanco et al. (2019). Val av kostnadsposter och parametrar till de olika kategorierna utgick från dessa sammanställningar. Vissa kostnadsposter exkluderades däremot från modellen då de efter avstämningar med fallföretagen inte ansågs vara lämpliga i deras fall. Bland annat resonerar Teoh (2022) att kostnaden för uppbyggnad av laddinfrastruktur bör inkluderas. Den fasta investeringskostnaden för laddinfrastruktur exkluderades dock från beräkningarna då fallföretagen valde att se det som en egen separat kostnad som inte skulle belasta enskilda fordon. Detta på grund av att det var en kostnad kopplad till transportörens fastighet och en förutsättning för att kunna erbjuda elektrifierade fordon. Däremot valde ett av fallföretagen att inkludera en rörlig kostnad per laddad kWh för att täcka upp för viss del av investeringskostnaden. Genom att inte inkludera den fasta investeringskostnaden för laddinfrastruktur kunde därför dubbelräkning undvikas. Likt TCO-studien gjord av Tanco (2019) exkluderades även kostnad för batteribyte, då batteriers livslängd antogs vara längre än 10 år och således överstiger fallföretagens tilltänkta ägandeperioder. Däremot resonerar Burke (2023) att det kan vara en aspekt som i sin tur påverkar andrahandsvärdet och valdes således att istället täckas in i känslighetsanalysen.

Lämpligheten på de utvalda kostnadsposterna och tillhörande parametrar verifierades sedan genom avstämningar med representanter på respektive fallföretag. Dessutom hölls möten med en extern konsult av erkänd branschkunskap för att få ytterligare respons och förslag på förbättringar. Ekonomiavdelningen på Renall hade själva utformat en kostnadsmodell för nyinköp av fordon och denna användes som inspiration till den Excelbaserade kostnadsmodell som författarna utvecklade. Författarna strävade efter att utforma en beräkningsmodell med hög användbarhet och användarvänlighet som skulle kunna användas av företagen även vid senare tillfällen. Detta då kostnader förväntades förändras och revidering av beräkningar kunde komma att bli nödvändigt. Användarvänligheten säkerställdes genom att utforma modellen tillsammans med dess framtida användare och regelbundna avstämningar där revideringar av modellen gjordes. I modellen valdes även att inkludera NPV- och break-even-beräkningar för att ta hänsyn till värdeförändringar över tid och behovet av lönsamhet (Dimanchev, et al., 2023; Holmström & Lindholm, 2011; Moll, et al., 2020).

Samla in data och genomföra beräkningar

Det tredje steget var att samla in data och genomföra beräkningar. Företagsspecifika data samlades in från ekonomiavdelningen på Renall och logistikavdelningen på Returpack. En logistikutvecklare på Returpack tog in offerter från fordonstillverkare, medan Renall ansåg att det var rimligt att göra ett antagande kring att inköpsvärde och månadskostnad för operationell leasing ökade procentuellt från deras nuvarande bränsle HVO. Detta då det i dagsläget inte fanns fordon ute på marknaden för alla Renalls olika fordonstyper. Kostnader för depåladdning och personalkostnader hämtades för respektive berörd aktör och schablonmässiga driftkostnader hämtades från fallföretagen.

För den data som inte fanns tillgänglig behövde antaganden göras. Dessa antaganden dokumenterades (*Tabell 19*) för att öka transparensen och tydliggöra behovet av känslighetsanalys för dessa kostnadsposter. Bland annat ansågs restvärdet vara osäkert, då det i dagsläget finns osäkerheter kring batteriets livslängd och få begagnade elektrifierade fordon på marknaden att jämföra med (Basma, et al., 2022; Uhrdin, et al., 2023). Fallföretagen föredrog en estimering om 10% på inköpspriset vilket ansågs rimligt då Burke (2023) konstaterar att batteriet har ett värde på 15% av initial kostnad efter 5 år. Bränslepris på publik laddstation uppskattades efter diskussion med logistikutvecklare på Returpack, CFO på Renall och jämförelser med aktuella priser på publika laddstationer. Däremot finns fortsatt osäkerheter i denna post då det är svårt att förutsäga om det finns lediga platser på laddstationen när ett fordon anländer eller om chauffören behöver stå i kö och vänta vilket medför ytterligare kostnader för stillestånd. Likaså är det inte säkert att andelen depå eller publik laddning i verkligheten överensstämmer med det planerade behovet av laddning vilket kan ha inverkan på det slutgiltiga resultatet. I kostnadsmodellen har det även antagits att all mellanladdning sker på publika stationer. Det kan dock förekomma mellanladdning som sker på depå eller semi-publika stationer med lägre priser per kWh och kostnaderna har således överskattats i den genomförda kostnadsanalysen.

Tabell 19: Sammanställning av kostnadsposter där antaganden behövs göras.

Kostnadspost / parameter	Antagande
Inköpspris elektrifierat fordon	60% och 75% ökning från HVO-drivet fordon (Renall)
Restvärde	10% av inköpspriset
Ränta	7%
Miljöpremie	0:-
Diskonteringsränta	2%
Körd årlig sträcka	Varierande utifrån fordon (Renall)
Bränsleförbrukning	Varierande utifrån fordon (Renall)
Bränslepris publik laddstation	6:- exkl. moms (Renall) och 4,8:- exkl. moms (Returpack)
Andel depå eller publik laddning	Varierande utifrån fordon

Utför känslighetsanalys

När beräkningarna färdigställda genomfördes känslighetsanalysen på resultatet för att avgöra dess tillförlitlighet och robusthet (Abrahamsson & Aronsson, 1999; Björklund, 2018; Ellram, 1993). De kostnadsposter som kontrollerades genom känslighetsanalysen presenteras i *Tabell 20* nedan och var poster som förväntades förändras över tid eller förväntades ha stor påverkan på resultatet. Känslighetsanalysen genomfördes som en univariat analys där en variabel i taget ändrades och förändringar i resultatet studerades, noterades och sammanställdes i tabeller eller grafer (Blomqvist & Hallin, 2015).

Bland annat genomfördes känslighetsanalys på inköpspriset då denna kostnadspost motsvarade en stor andel av totalresultatet samt att det diskuterats att inköpspriset i framtiden kan komma att minska till följd av den snabba utvecklingen med minskade kostnader för komponenter och produktion samt ökad konkurrens som följd (Basma, et al., 2022; Borlaug, et al., 2022; Burke, et al., 2023; Göhlich, et al., 2018; Tanco, et al., 2019). Al-Hanahi et al. (2021) resonerar däremot också att de elektrifierade fordonens höga investeringskostnader kan kompenseras av lägre driftkostnader och att körd sträcka kan ha genomslag på livscykelkostnaden. Därför gjordes även känslighetsanalys på fördelningen mellan depåladdning och publik laddning samt fordonens nyttjandegrad i form av avtalsperiod (Burke, et al., 2023).

Tabell 20: Sammanställning av kostnadsposter som studerades i känslighetsanalysen.

Kostnadspost	Intervall
Inköpspris	-20%
Miljöpremie	-20% av inköpspriset
Publik laddning	Verkligt behov → 0%
Avtalsperiod	10 år → 5 år

Underfråga 4.2 Vilka likheter och skillnader i kostnadsfördelning kan identifieras hos Renall och Returpack?

För att ge ett diskussionsunderlag till underfråga 4.2 nyttjades de kostnadsanalyser som gjorts för att besvara underfråga 4.1. De kostnader som beräknats och en lista på vad de olika kostnadsposterna innefattade sammanställdes. Identifiering av likheter och skillnader gjordes för att kunna jämföra företagens innevarande resurser och behov av resurser för byte från fordon med förbränningsmotorer till elektrifierade fordon. Jämförelsen möjliggjorde sedan identifiering av vilka poster som överensstämde och inte överensstämde mellan transportören Renalls och transportköparen Returpacks kostnadsmodeller.

5.3 Den utvärderande fasen

Den sista fasen sammanställde och utvärderade de slutsatser som dragits kring underfrågorna i analysen. De slutsatser kring de mer företagsspecifika underfrågorna användes i sin tur för att besvara syftet och huvudfrågorna. Hänsyn togs till att syfte och frågeställningar utformats på en mer generell nivå för att öka generaliserbarheten av fallstudien. Genom att tillämpa analytisk generaliserbarhet analyserades i slutet av rapporten på vilka sätt resultatet från fallstudien var tillämplbara i andra liknande fall, enligt beskrivning av Blomqvist & Hallin (2015). De slutsatser som dragits i underfrågorna med fallföretagen Renall och Returpack behöver nödvändigtvis inte svara för hela branschen. Med hänsyn till detta inkluderades även avsnitt om resultatkritik, studiens tillförlitlighet, begränsningar, metodförbättringar och framtida undersökningsområden enligt rekommendation från Patel och Davidson (2020).

6 Utveckling av metodik för uppskalning av elektrifiering

I följande kapitel utformas en metodik för uppskalning av elektrifiering med hjälp av insamlad litteratur och ämnar besvara huvudfråga 1. De ingående delarna i metodiken bryts först ned och beskrivs grundligt för att sedan sättas ihop till en övergripande metodik. Metodiken som utvecklats används sedan i kapitel 8 där den appliceras på fallföretagen.

Att köpa in enstaka elektrifierade lastbilar är ett första steg i elektrifieringsprocessen och har kunnat genomföras utan större justeringar av logistiksystemet och bidragit till att lärandeprocessen påbörjas. Begränsade förändringar är möjligt eftersom enstaka elektrifierade lastbilar kan tilldelas anpassade uppdrag vars uppdragskarakteristik faller inom ramen för de elektrifierade fordonens begränsningar (Lindbom, et al., 2024). För att arbeta mot en fullskalig uppskalning av elektrifierade lastbilar är tidigare arbetssätt inte applicerbart om fler fordon ska inkluderas i systemet (Cabukoglu, et al., 2018). Därför finns ett behov av att utveckla en metodik för uppskalning av elektrifiering och ett förslag på utformning beskrivs i detta kapitel.

6.1 Hur kan ett elektrifierat logistiksystem utformas?

För att besvara underfråga 1.1 presenteras nedan en metodik för utformning av ett elektrifierat logistiksystem. Det eftersom införandet av alternativa drivmedel har en koppling till uppbyggnaden av ett grönt logistiksystem (Martinsen & Huge-Brodin, 2014; Jazairy, 2020; Colicchia, et al., 2013; Haag, et al., 2024), men det betyder inte att systemet automatiskt är anpassat efter de nya förutsättningarna som de alternativa drivmedlen bidrar med. Vinsterna av att införa alternativa drivmedel kan därmed gå förlorade om systemet inte anpassas, något som Cabukoglu et al. (2018) stärker. Inför uppskalning av elektrifierade lastbilar bör hela logistiksystemet ses över då det befintliga systemet är uppbyggt utifrån de förutsättningar som gäller för fossildrivna fordon. Därmed introduceras metodikens första del, vilket benämns som *utformning av ett elektrifierat logistiksystem* i enhetlighet med [Figur 28](#) nedan.



Figur 28: Första delen i metodiken som behandlar utformning av logistiksystemet.

Då det är konstaterat att eldrivna lastbilar medför nya förutsättningar är det därmed av vikt att utforma det nya logistiksystemet utifrån dessa förutsättningar (Lindbom, et al., 2024; Uhrdin, et al., 2023) med syfte att skapa ett logistiksystem där **effektiviteten, nyttjandegraden** och **förutsägbarheten** är hög. Litteraturen presenterar flertalet metoder och lösningar för att hantera de nya förutsättningarna, vilka presenteras i Tabell 21 nedan.

Tabell 21: Sammanställning av de lösningar som presenterats i referensramen.

Identifierade lösningar
Nya IT-system
Utbildning av förare
Realstidsdata
Utökad effektkontroll
Förlängda skift
Eco-driving
Aktivitet under laddning
Lägre kundkrav
Oassisterade leveranser
Längre kontraktstider

En hög *effektivitet* är systemets första grundpelare och systemet bör därmed utformas med fokus på att bygga in *effektivitet*, vilket innebär att resultatet ska kunna uppnås med lägre krav på resurser. I fallet med elektrifiering syns en tydlig koppling mellan att kunna genomföra uppdrag enligt önskemål och samtidigt förbruka så lite energi som möjligt för att minska laddbehovet under rutt. Ett ineffektivt system kan innebära onödiga förluster som inte bidrar till uppdragets genomförande, exempelvis långa laddtider (Teoh, 2022) vilket kommer från onödiga körsträckor eller förhöjd energiförbrukning. Utifrån de lösningarna presenterade av litteraturen bedöms lösningarna sammanställda i Tabell 22 nedan tillämpbara för att öka *effektiviteten*. Detta då deras effekt vid implementering leder till mer välinformerade beslut, förenklade arbetsuppgifter för personalen samt minskat antal personaltimmar och energi som förbrukas vid genomförandet av ett uppdrag. Ett exempel på detta är eco-driving, då det ökar resurseffektiviteten för en körd sträcka (Craig & Stanton, 2018) vilket således bidrar till ökad *effektivitet*.

Tabell 22: Identifierade lösningar för ökad effektivitet.

Identifierade lösningar för ökad effektivitet
Nya IT-system
Realstidsdata
Eco-driving
Aktivitet under laddning
Lägre kundkrav
Förlängda skift
Oassisterade leveranser
Strategisk kompetens

En hög *nyttjandegrad* är systemets andra grundpelare. Till följd av den förändrade kostnadsfördelningen är det av högre vikt att *nyttjandegraden* för elektrifierade fordon ökar (Al-Hanahi, et al., 2021; Lindbom, et al., 2024). Genom att bedöma möjligheten att utföra fler uppdrag under en dag utan att förlora i effektivitet kan *nyttjandegraden* öka. Naturligt finns därmed en koppling till effektiviteten, då det i ett effektivt system finns större förutsättningar att öka upp *nyttjandegraden*. I *nyttjandegraden* inkluderas användningen av både fordon, personal och laddinfrastruktur. Att enbart öka användningen av ett fordon sänker effektiviteten och rekommenderas därmed inte, utan ökat användande ska exempelvis ge fler utförda uppdrag. I *Tabell 23* nedan presenteras de lösningar som bedöms kunna bidra till en ökad *nyttjandegrad* då det möjliggör för företag att genomföra mer med innehavande resurser, exempelvis energi, fordon eller personal. Ett exempel på en lösning som ökar *nyttjandegraden* är leveranser utanför ordinarie arbetstider då chauffören, fordonet och bränslet i högre utsträckning kan nyttjas till att utföra uppdrag i stället för att köa i trafiken vilket under dagtid förekommer i större utsträckning.

Tabell 23: Identifierade lösningar för ökad *nyttjandegrad*.

Identifierade lösningar för ökad <i>nyttjandegrad</i>
Realstidsdata
Nya IT-system
Utökad effektkontroll
Aktivitet under laddning
Förlängda skift
Oassisterade leveranser

Logistiksystemets tredje grundpelare är *företsägbarhet* vilket ämnar att underlätta den dagliga planeringen och val av laddstrategi, då det kräver färre akuta lösningar och justeringar (Magnusson & Berggren, 2017). Akut och kortsiktig planering kan leda till att behovet av att ladda mer publikt uppstår, längre kötider eller begränsad konsolidering vilket kan bli kostsamt (Al-Hanahi, et al., 2021; Basma, et al., 2022). Då laddinfrastrukturen i dagsläget är begränsad

bör laddning genomföras när laddinfrastruktur finns tillgänglig snarare än när batterinivån är kritiskt låg. Det är viktigt att veta hur mycket som behövs laddas för att kunna genomföra dagens uppdrag för att inte ladda publikt mer än nödvändigt. Därmed är det viktigt att öka *förutsägbarheten*, vilket kräver samverkan och kommunikation mellan transportör och transportköpare men även långsiktiga relationer. *Förutsägbarheten* bedöms kunna förbättras genom lösningarna presenterade i *Tabell 24* nedan. Lösningarnas effekter innebär bland annat högre kunskapsnivå och kontroll i ett tidigare skede, vilket hädanefter är arbetets definition av *förutsägbarhet*.

Tabell 24: Identifierade lösningar för ökad förutsägbarhet.

Identifierade lösningar för ökad förutsägbarhet
Nya IT-system
Realstidsdata
Utökad effektkontroll
Lägre kundkrav
Längre kontraktstider

Vid bedömning av lösningar är det fördelaktigt om implementering av en specifik lösning kan uppnå alla tre grundpelare, det vill säga ökad effektivitet, nyttjandegrad och förutsägbarhet hos företaget. Detta är dock i praktiken svårt att uppnå vilket leder till att en samlad bedömning av lösningarna utifrån företagets nuläge bör genomföras. En hög förväntad effekt beror av den nuvarande nivån av effektivitet, nyttjandegrad eller förutsägbarhet. Om exempelvis nya IT-system kan öka förutsägbarheten, uppnås en högre förväntad effekt om IT-system i dagsläget saknas helt eller inte ger upphov till någon förutsägbarhet. Den förväntade effekten bedöms även öka om implementering av lösningen förväntas leda till större tidiga omstruktureringar, då det enligt Abrahamsson och Aronsson (1999) ger kraftiga förbättringar på upp till 25-30%. Mindre kontinuerliga förbättringar bör implementeras efter de större tidiga omstruktureringarna eftersom dessa förräntas ge en lägre effekt, då cirka 5-10% (Abrahamsson & Aronsson, 1999). Eftersom de initiala mer radikala omstruktureringarna är en viktig del i att snabbt kunna skala upp och förbättra systemet, bedöms lösningar som leder till detta ge en högre förväntad effekt. Att genomföra större omstruktureringar kräver dock vanligen mer resurser än mindre kontinuerliga förbättringar, vilket leder till att genomförbarheten för dessa kan bedömas som lägre. Genomförbarheten bedöms utifrån företagets tillgängliga resurser, förmåga att skaffa sig resurser eller maktposition då dessa enligt Cox, et al (2002) och Simm (2024) påverkar hur logistiksystemet kan utformas.

6.2 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas?

För att kunna bedöma vilken batterikapacitet som krävs hos de nyinköpta elektrifierade lastbilarna bör företagets körkaraktistik enligt Basma et al. (2022), Burke et al. (2023) och Leonard et al. (2022) vägas mot tillgängliga batterier och dess inköpspris. Därmed introduceras

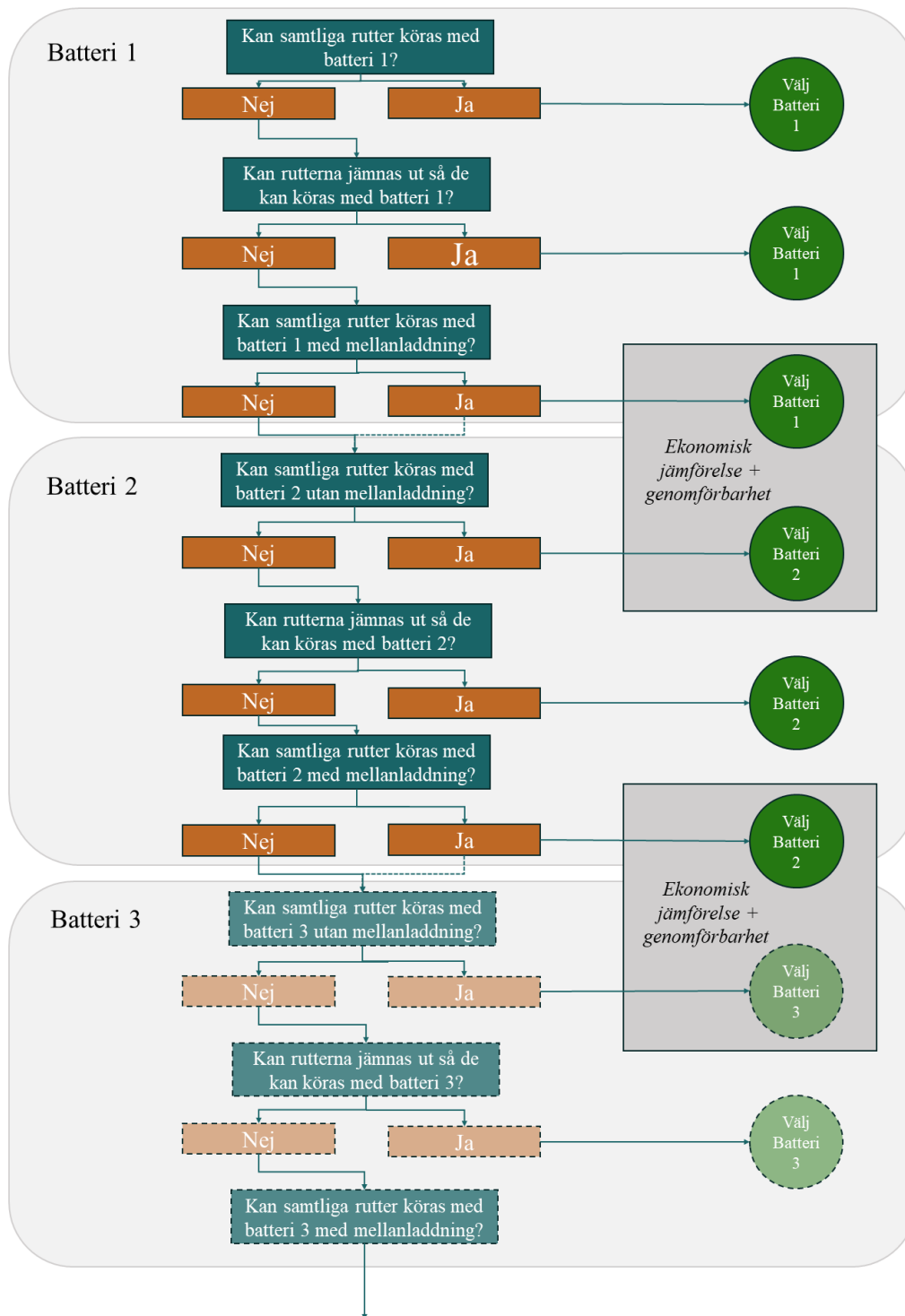
metodikens andra del, vilken benämns *utformning av fordonsflotta* i enhetlighet med Figur 29 nedan och ämnar besvara underfråga 1.2.



Figur 29: Andra delen av metodiken som behandlar utformning av fordonsflottan.

Genom att förstå användningen av befintliga fordon kan krav som ställs på elektrifierade lastbilar utläsas. Dessutom kan förståelsen bidra till att bedöma behovet av förändringar som bör implementeras för att kunna uppnå jämna och effektiva rutter i syfte att anpassa systemet efter de nya förutsättningar som följer elektrifiering. Det eftersom det enligt Magnusson et al. (2020) och Whitehead, et al., (2022) är körd sträcka per dag och förekomsten av fasta rutter som bland annat påverkar vilka fordon som bör elektrifieras. Som stöd i besluten ingår även en ekonomisk jämförelse där alternativet *mindre batteri med mer mellanladdning* jämförs med *större batteri med mindre mellanladdning*. Då dessa alternativ ger upphov till olika kostnader bör de vägas mot varandra innan beslut tas. Det genomförs till följd av rekommendationerna från Basma et al. (2022), Burke et al. (2023) och Leonard et al. (2022) vilka rekommenderar att batterikapaciteten bör dimensioneras med kostnader som stöd.

Utifrån referensramen har en modell för val av batterikapacitet utformats (Figur 30) och varje del beskrivs mer ingående nedan. Beslutsmetodiken är utformad för att kunna tillämpas på beslut mellan flera olika batterikapaciteter, vilket illustreras av de streckade områdena. Genom att för varje tillkommen batterikapacitet i analysen addera dessa frågeställningar till modellen kan fler batterikapaciteter jämföras. En förutsättning för beslutsmetodiken är att batterier numreras utifrån stigande kapacitet och att inköpspriset ökar med erhållen kapacitet.



Figur 30: Beslutsmetodik för val av batterikapacitet för inköp av elektrifierat fordon. Utformad av författarna.

6.2.1 Jämna ut rutter

För att underlätta elektrifiering är det önskvärt med jämna och förutsägbara rutter eftersom det förbättrar möjligheterna att uppnå en tillförlitlig planering och en hög nyttjandegrad (Lindbom, et al., 2024; Näsström & Hasselgren, 2021; Whitehead, et al., 2022). Genom att studera nuvarande körkaraktistik och därmed hur energiförbrukningen fördelar sig mellan dagar eller rutter under studerad tidsperiod ges en grund inför potentiell utjämning av rutter. Rutter kan jämnas ut genom nedanstående tekniker för utjämning där befintliga rutter eller dagar syftar till rutter som körs i dagsläget och dagar där fordonet inte är stillastående.

- *Uppdrag flyttas till befintliga rutter/dagar där energiförbrukningen är lägre.*
- *Uppdrag flyttas till befintliga rutter/dagar hos andra fordon där energiförbrukningen är lägre.*
- *Uppdrag flyttas till nya rutter/dagar där fordonet tidigare varit stillastående.*
- *Uppdrag flyttas till nya rutter/dagar på annat fordon som tidigare varit stillastående.*
- *Uppdrag flyttas till nya rutter/dagar på extrainköpta fordon.*

Ett område kan vara geografiskt eller baserad på fordonstyp. För varje område summeras fordonens energiförbrukning för respektive dag där ett medelvärde kan utläsas som den teoretiskt lägsta energiförbrukningen som kan uppnås vid en fullständig utjämning. Detta är i praktiken svårt att uppnå av följande anledningar:

- *Kundernas krav på dag och tidpunkt när ett uppdrag bör genomföras.*
- *Kundernas tillgänglighet gällande dag och tidpunkt när ett uppdrag kan genomföras.*
- *Uppdragets geografiska lokalisering i förhållande till depå.*
- *Tydlig skillnad i geografisk lokalisering mellan dagar.*
- *Planeringshorisonten för uppdragen.*
- *Chaufförernas arbetstider och lagstadgade raster.*
- *Fordonets volymbegränsningar.*
- *Uppdraget passar inte med fordonets påbyggnad.*

Bland de identifierade faktorerna finns likheter med det som i litteraturen beskrivs som flexibilitetshämmande faktorer, exempelvis strikta kundkrav och hög andel akuta uppdrag (Björklund, 2011; Magnusson & Berggren, 2017; Whitehead, et al., 2022; Zhao, et al., 2021). Att jämna ut rutterna bör dock inte genomföras på bekostnad av effektiviteten vilket kan bli fallet om fler rutter skapas och den totala körsträckan ökar trots att utförda uppdrag förblir konstant.

6.2.2 Ekonomisk jämförelse

När modellen mynnat ut i två olika batterikapaciteter som är lämpliga för genomförande bör kostnaden för dessa vägas mot varandra innan slutgiltigt beslut om batterikapacitet tas. För att kunna ta beslut kring vilket alternativ som är lämpligast är det relevant att jämföra kostnader för att mellanladda under en rutt mot kostnader för att köpa ett fordon med större batteri. I en studie av Karlsson och Grauers (2023) kommer de fram till att överdimensionering med större batterier

är billigare än att öka andelen publik laddning. Å andra sidan konstaterar Basma et al. (2022) att lönsamhet lättare kan uppnås genom att inte överdimensionera ett fordon's batteristorlek. Utifrån den kostnadsanalys som utvecklats i samband med denna rapport kan det konstateras att beslutet är beroende av flertalet parametrar och kan variera från fall till fall. Därför är rekommendationen att individuella beslut bör tas anpassade till respektive fordon.

Den genomförda kostnadsanalysen tar hänsyn till kostnadsdifferensen i inköpspris mellan fordon med två olika batteristorlekar. Inköpspriset för fordon med olika batterikapaciteter varierar mellan olika fordonsleverantörer, men även till följd av finansieringsmetod och aktuella räntesatser enligt bland annat Moll et al. (2020), Basma et al. (2022) och Tanco et al. (2019). Den uträknade differensen i inköpspris jämförs sedan med kostnaden att mellanladda under rutt, vilket förekommer oftare med ett mindre batteri. Vid mellanladdning tas hänsyn till hur mycket som behöver laddas per gång då det inte alltid är säkert att fordonet behöver ladda fullt ute på rutt. Hänsyn tas även till att inte samtliga av ett fordon's rutter behöver mellanladda. Pris för laddning påverkas också om laddning sker på depå eller på publik station (Lindbom, et al., 2024; Moll, et al., 2020). Utöver kostnad för faktisk laddning tillkommer även kostnader för personal, då chauffören kan behöva vänta på att fordonet ska laddas. Personalkostnader påverkas av tiden det tar att ladda, om fordonet måste avvika från rutt för att finna laddplats, vilken leverantör som kör samt om laddning sker på en vardag eller helg.

Kostnaden för laddning är komplex och hur laddning under en rutt sker är beroende av flertalet faktorer, däribland ett företags rutt- och körkaraktistik. Fordon som kör lokalt kan ha en större möjlighet att återvända tillbaka till depå för att ladda, medan långväga regionala fordon behöver förlita sig på laddning vid publika laddstationer. För att bedöma hur olika karaktistik påverkar kostnader har sex olika scenarier tagits fram (*Tabell 25*).

Tabell 25: Redovisning av de sex scenarier som jämförts.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Mellanladdning på depå	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej
Avvikande från rutt	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja
Helg	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja

För tillämpning genomförs känslighetsanalyser för respektive scenario för att undersöka hur olika faktorer påverkar resultatet och för att underlätta beslutsfattandet. Dessa ämnar redovisa hur många år som det tar innan break even uppnås och det lönar sig att byta till en större batterikapacitet (Holmström & Lindholm, 2011). Ett exempel på det kan ses i *Figur 31* nedan. Figuren är baserad på scenario 1, där olika värden på parametrarna *antal mellanladdningar per år* och *andel laddning per tillfälle* jämförs. Olika faktorer påverkar dessa parametrar vilket gör att tabellen inte är symmetrisk. Till exempel uppstår extratid för körning till och från en publik

laddstation vilket gör att kostnaderna ökar om fler mellanladdningar per år genomförs. Däremot är det inte något som påverkar kostnaderna om en högre andel mellanladdning per tillfälle skulle göras då fordonet redan står på laddstationen och således inte behöver köra några extrasträckor.

	50	100	150	200	250	300	350
10%	18,4	9,2	6,1	4,6	3,7	3,1	2,6
20%	16,9	8,4	5,6	4,2	3,4	2,8	2,4
30%	15,5	7,8	5,2	3,9	3,1	2,6	2,2
40%	14,4	7,2	4,8	3,6	2,9	2,4	2,1
50%	13,5	6,7	4,5	3,4	2,7	2,2	1,9
60%	12,6	6,3	4,2	3,2	2,5	2,1	1,8
70%	11,9	5,9	4,0	3,0	2,4	2,0	1,7
80%	11,2	5,6	3,7	2,8	2,2	1,9	1,6
90%	10,6	5,3	3,5	2,6	2,1	1,8	1,5
100%	10,1	5,0	3,4	2,5	2,0	1,7	1,4

Figur 31: Antal år tills break even uppnås för scenario 1 baserat på olika ingående värden för parametrarna "antal mellanladdningar / år" samt "andel laddning per tillfälle".

Den del av modellen som visualiseras i figuren kan användas som ett uppslagsverk för att utläsa vid vilka situationer som det är lönsamt att välja en större batterikapacitet eller att mellanladda i större utsträckning. Resultatet redovisat i figuren kan vägas mot kontraktslängd. Om den tilltänkta kontraktslängden är 10 år är det lönsamt att byta till en större batterikapacitet vid alla tillfällen i figuren då break even är lägre än 10.

Det resultat som visas är baserat på ett exempelfordon och är inte fixt för samtliga fordon. Detta då resultatet baseras på flertalet ingående parametrar som är specifika för det fordon som studeras. Resultatet varierar även mellan olika scenarier där exempelvis ökade personalkostnader på helger och ökade priser för laddning vid publika stationer gör att det går snabbare tills break even uppnås.

6.2.3 Justering för genomförbarhet

Efter den ekonomiska analysen identifieras det val av batterikapacitet som genererar lägst kostnader. Att enbart välja batterikapacitet utefter den lästa kostnaden kan leda till problem vid implementering och uppskalning av elektrifiering samt hindra genomförbarheten helt och hållet. Kostnaden för respektive val bör därmed vägas mot genomförbarheten av elektrifiering (Basma, et al., 2022; Burke, et al., 2023; Lindbom, et al., 2024; Leonard, et al., 2022). Då begränsad räckvidd, behov av laddstrategi samt behov av laddinfrastruktur är de förutsättningar som främst antas förändras vid elektrifiering bryts dessa ner för att generera kriterier för bedömning av genomförbarhet.

Begränsad räckvidd syftar till den energi som ett fordon kan förbruka mellan laddningar antingen genom körd sträcka eller kraftuttag. När räckvidden begränsas innebär det att frekvensen laddning ökar, vilket kan påverka hur uppdraget kan genomföras. Vid frekvent behov av laddning ökar risken för att uppdrag behöver avbrytas eller skjutas upp för att fordonet behöver uppsöka laddstation. Då ett mindre batteri leder till fler laddningar under rutten (Lindbom, et al., 2024), innebär det att det i större utsträckning bör vara möjligt att avvika från ett uppdrag för att

uppsöka laddning när ett litet batteri innehas. Dessutom minskar flexibiliteten med begränsad räckvidd (Speth & Funke, 2021), vilket leder till att akuta uppdrag blir allt svårare att genomföra. Därmed bör det även undersökas hur uppdragens behov av flexibilitet påverkas av val av batterikapacitet. Om ett mindre batteri begränsar flexibiliteten på bekostnad av uppdragets genomförande bör det större batteriet övervägas. Ovan resonemang resulterar i följande kriterier:

- Är det möjligt att avvika från rutt/uppdrag för att ladda under rutt?
 - Är det möjligt att lämna det pågående uppdraget för att ladda under rutt?
 - Är det möjligt att tidpunkten för uppdraget flyttas fram med den tid det tar att ladda under rutt?
 - Är det möjligt att rutten förlängs med den tid det tar att ladda under rutt?
- Är det möjligt att minska flexibiliteten?
 - Är det möjligt att inte alltid kunna genomföra akuta uppdrag?
 - Är det möjligt att kräva förutsägbarhet?

Behovet av laddstrategi och laddinfrastruktur kan begränsa genomförandet, främst då laddinfrastrukturen idag är begränsad (Shoman, et al., 2023; Lindgren, et al., 2021). Trots att det för vissa scenarion kan uppnås lägre kostnader med publik laddning under rutt är en förutsättning för att detta ska kunna genomföras att det finns tillgänglig publik laddinfrastruktur. Laddning under rutt kan även genomföras på depå, men för att detta ska vara ett alternativ bör fordonet befinna sig i närheten av depån eftersom det vid lång körning till depå ger upphov till högre kostnader. Om detta inte är fallet i det område där fordonet behöver ladda bör inte det mindre batteriet väljas, utan det större. Även om publik laddinfrastruktur finns tillgänglig innebär det en risk att uppsöka dessa. Eftersom det tar längre tid att ladda än att tanka (Kopasz & Krause, 2019) finns en risk att behöva stå i en längre kö. Det genererar inte bara högre kostnader, utan det kan även påverka huruvida ett uppdrag blir klart under dagen eller inte. En komponent i laddstrategier är ofta att chauffören bör genomföra sin rast under laddning (Al-Hanahi, et al., 2021). Detta kan dock bli problematiskt vid publik laddning, då rasten bryts om chauffören flyttar sitt fordon när det har laddat klart, något som chauffören bör göra om det är kö till laddstationen (Al-Hanahi, et al., 2021). Då det mindre batteriet ger upphov till större behov av publik laddning under rutt (Karlsson & Grauers, 2023) bör det utredas om företaget är villigt att hantera denna risk eller om det större batteriet med mindre behov av publik laddning under rutt är att föredra. Ovan resonemang resulterar till följande kriterier:

- Finns tillgänglig laddinfrastruktur för laddning under rutt?
 - Är det möjligt att finna semi-publik eller publik laddinfrastruktur utöver depå?
 - Är det möjligt att återvända till depå?
- Är det möjligt att hantera risker med publik laddning?
 - Är det möjligt att behöva köa för laddning under rutt?
 - Kan laddning ske utan att försvåra möjligheten till rast?

Samtliga av dessa kriterier för genomförbarhet bör tillsammans med den ekonomiska analysen inkluderas i val av batterikapacitet. Uppfylls inte kriterierna ovan bör det större batteriet, trots potentiellt högre kostnader, övervägas.

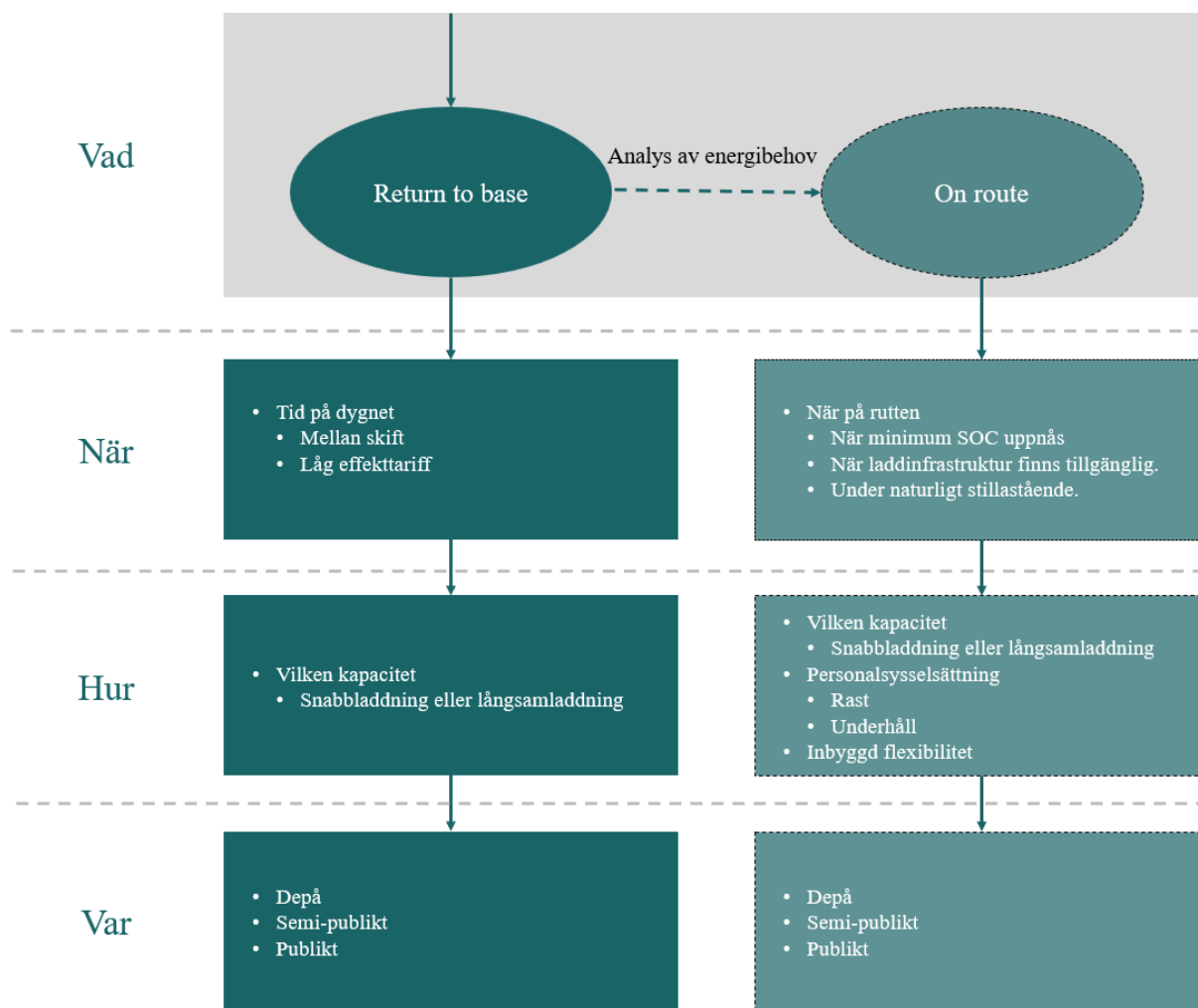
6.3 Hur kan en laddstrategi utformas?

När val av fordon och tillhörande lämplig batterikapacitet gjorts blir nästa steg att med utgångspunkt ur tidigare val utveckla laddstrategier till de specifika fordonen. Som nämns av Teoh (2022) finns många olika laddstrategier att ta hänsyn till, men enligt Al-Hanahi (2021) påverkas behovet av denna genom kör- och uppdragskaraktistik. Det gör det nödvändigt att utveckla laddstrategier som är specifikt anpassade för olika företag och deras specifika uppdragskaraktistik för att samtidigt undvika försämringar i effektivitet och bibehålla lönsamhet (Teoh, 2022). Därmed introduceras metodikens tredje del, vilken benämns *utformning av laddstrategi* i enhetlighet med Figur 32 nedan och ämnar besvara underfråga 1.3.



Figur 32: Tredje delen av metodiken som behandlar utformning av laddstrategi.

Utifrån litteratursammanställningar har beslutspunkterna *vad*, *när*, *hur* och *var* utvecklats för att guida företag vid val av laddstrategi (Figur 33). Modellen är utformad för en specifik rutt där varje rutts laddstrategi sedan summeras till ett företags övergripande laddstrategi.



Figur 33: Modell för att bestämma laddstrategi.

6.3.1 Vad

Al-Hanahi (2021) beskriver två modeller för utformning av laddstrategi: *return to base* och *on route*. Samtliga rutter bör ha en strategi kring hur *return to base* ska hanteras. Detta för att det alltid finns ett behov av att ladda upp ett fordon inför och efter varje rutt. Laddbehovet för fordon och dess rutter varierar och baseras på ett flertal faktorer såsom bland annat körd sträcka och kraftuttag (Al-Hanahi, et al., 2021). Dessa faktorer summerar sedan ihop till en rutts totala energibehov.

Ett andra steg är att studera varje rutts energibehov och jämföra med den batterikapacitet som finns för det fordon som kör rutten. Om en rutts energibehov är större än den tillgängliga batterikapaciteten eller om nyttjandegraden på ett fordon bör ökas finns även ett behov av att utveckla en kompletterande *on route* strategi för att klara av att genomföra hela rutten. Om det finns möjlighet att klara sig utan *on route* bör det dock eftersträvas i många fall. Det beror på att

det oftast är billigare att ladda *return to base* på grund av att kostnader för att ladda långsamt är lägre och minskat stillestånd av personal som leder till högre operativ effektivitet (Borlaug, et al., 2022).

On route strategin kan även vara lämplig att utforma även om fordonet teoretiskt sett skulle klara sig på enbart *return to base* laddning. Detta då Teoh (2022) förklarar att en nödstrategi kan vara nödvändig om oförutsedda händelser sker. Samtliga fordon bör därför ha en generiskt utvecklad *on route* strategi för nödsituationer, även om nyttjandet av denna förhoppningsvis är mycket lågt. När beslut om vad för strategi som ska utformas är nästa steg att besvara frågorna *när*, *hur* och *var* för *return to base* respektive *on route*. Dessa beskrivs mer ingående nedan.

6.3.2 När

Del två består av att besluta när på dygnet laddning ska ske. Genom att ladda när effektefterfrågan är lägre kan kostnader minimeras (Basma, et al., 2022; Energimarknadsinspektionen, 2023a; Svenska Kraftnät, 2024). Vid laddning *return to base* kan depåladdning vara lämpligt. I detta fall kan en energikartläggning vara ett viktigt verktyg som lägger grunden för hur ett sådant beslut ska utformas (Energimyndigheten, 2022b; Li, et al., 2023). Idag finns även smarta laddsystem som kan koordinera när laddning sker för att ta hänsyn till detta (Al-Hanahi, et al., 2021; Basma, et al., 2022). Laddning kan dock inte alltid ske när som helst på dygnet. Under en *return to base* strategi behöver laddning ske när fordonet ej nyttjas och begränsas vanligtvis till en viss tidsperiod under ett dygn.

För en *on route* strategi är tidpunkten för laddning beroende av fordonets batterinivå. Valmöjligheterna begränsas dock av att laddinfrastruktur ska finnas tillgänglig samt att laddning bör infinna sig under naturliga stopp såsom exempelvis chaufförens rast för att minska stillestånd och således personalkostnader. Det medför dock också en risk för ökade kostnader om laddning sker när effektefterfrågan är hög (Al-Hanahi, et al., 2021; Basma, et al., 2022). Om fordonet kräver laddning *on route* kan det vid brist på laddinfrastruktur vara lämpligt att tilläggsadda före behovet uppstått för att exempelvis undvika att resa allt för långa extra sträckor. Dessa faktorer och tillhörande kostnader bör vägas mot varandra för beslut om lämplig tidpunkt för laddning.

6.3.3 Hur

Den tredje delen innefattar hur och på vilket sätt laddning bör ske. Val av vilken kapacitet som eftersträvas på laddare bör ta hänsyn till vilken laddkapacitet fordonet kan ta emot, fordonets batteristorlek, batterinivå och hur mycket laddning som behövs. Dessa faktorer tillsammans med laddarens kapacitet bestämmer hur snabbt laddning kan ske. Det är dock inte alltid givet att laddning bör ske så snabbt som möjligt då typ 3 laddning ofta sliter på batteriet och således minskar dess livslängd (Burke, et al., 2023; Daniels, et al., 2022; Fioriti, et al., 2023; Sandhya & Nisha, 2022; Xuebing, et al., 2019). Vid en *return to base* strategi kan därför typ 2 laddare vara att föredra under förutsättningen att tillräckligt med tid finns för att hinna ladda med lägre

kapacitet. Även hur mycket som ska laddas är en avvägning. Det beror på att en *return to base* strategi kan vara mer kostnadseffektiv och då bör inte mer laddning är nödvändigt ske *on route*.

Vid en *on route* strategi kan det i vissa fall vara svårt att koordinera så att laddning infaller under en chaufförs rast. Då skapas ett behov av att planera för vad personal ska göra under den stilleståndstid som uppstår vid laddning. Som nämnt av Teoh (2022) är ett effektivitetshöjande alternativ att låta chaufförerna utföra parallella aktiviteter samtidigt. Det skulle exempelvis kunna vara underhåll av fordonet. Ibland är det också värt att bygga in en flexibilitet som gör att chauffören själv bestämmer lämplig strategi för laddning. Vid publika laddstationer kan det exempelvis uppstå köer som förlänger tiden för stillestånd och sänker den operativa effektiviteten under rutten (Teoh, 2022). Likaså kan olika väderlekar och väglag påverka energiförbrukningen och således räckvidden på ett fordon (Mareev, et al., 2017). I dessa fall kan det vara fördelaktigt med en högre andel *trigger based* beslut och låta chauffören själv avgöra när laddning är nödvändigt.

6.3.4 Var

Den sista delen är att besluta var laddning ska ske. Båda delarna *return to base* och *on route* kan ske på depå, semi-publikt och publikt och det krävs en ekonomisk jämförelse av olika faktorer för att avgöra den mest lämpliga.

För strategin *return to base* är det vanligt med depåladdning (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022). Strategin kan därför skapa ett behov av att investera i laddinfrastruktur på depå och att uppgradera nätet för det ökade effektbehovet som det kommer medföra. Enligt Teoh (2022) kommer det framför allt bli nödvändigt för företag med större fordonsflotta att uppgradera elnätet. För mindre företag kan detta undvikas genom energikartläggning och nyttjande av oförbrukad kapacitet. Genom att dessutom ladda vid tidpunkter då elförbrukningen från övriga parter är lägre kan villkorade avtal bli möjligt (Energimarknadsinspektionen, 2023b) som i sin tur minskar kostnader för uppgradering av nätet (Basma, et al., 2022). Uppbyggnad av laddinfrastruktur medför investeringskostnader och dessa bör vägas mot att nyttja publika eller semi-publika laddare vid *return to base* laddning. Samtidigt ger egna laddare på depå en större säkerhet då kostnader och tillgänglighet kan styras.

Vid *on route* laddning blir den första frågeställningen att utreda om det finns tillgänglig laddinfrastruktur där laddning behöver ske. Alla alternativ är inte alltid tillgängliga längsmed en rutt. Tillgänglig laddinfrastruktur, sträcka till närmsta laddinfrastruktur, tillgänglig kapacitet och pris vid laddning är faktorer som behöver vägas mot varandra. Likaså bör frågan om när laddning ska ske vägas in i vissa beslut. Det kan till exempel ibland vara lämpligt att stanna och tilläggladda tidigt på rutten för att laddinfrastrukturen är bristfällig i den senare delen av rutten. Vid naturliga stopp när chauffören utför andra aktiviteter kan det vara lämpligt med tilläggladdning och semi-publika stationer blir viktiga i dessa fall. Dessutom möjliggör detta ofta minskade kostnader för laddning (Lindgren, et al., 2021). Depåladdare har ofta låg

nyttjandegrad dagtid och ekonomiska fördelar skulle kunna uppnås genom att nyttja dessa i högre grad (Teoh, 2022).

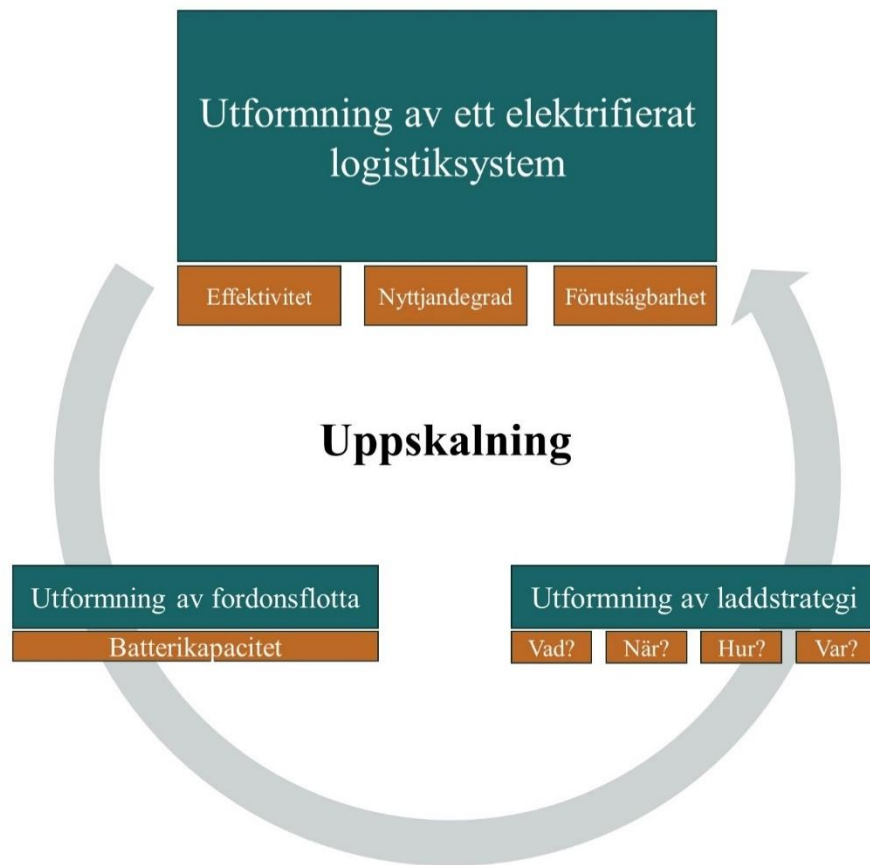
6.3.5 Schedule- och trigger based

Teoh (2022) beskriver även att moment i laddstrategierna kan vara *schedule based* eller *trigger based*. Det motsvaras av att moment som är *schedule based* beslutas i förväg av transportledning eller transportplanerare och moment som är *trigger based* beslutas av chaufförer ute på rutt. Hur olika företag kan använda sig av de olika strategierna beror delvis på företagskaraktär och hur flexibiliteten ser ut i dagsläget. Att lägga till eller ta bort flexibilitet kan mötas med motstånd. Det blir därför viktigt att studera nuvarande arbetssätt för att inte genomföra allt för stora förändringar åt gången. En flexibel rutt idag är mer lämpad för ett *trigger based* beslut om när, var och hur laddning ska ske.

Fördelningen mellan *schedule based* och *trigger based* beslut bör bestämmas i förväg och inkluderas i metodiken. *Schedule based* är ofta ett mer faktadrivet beslut och kan genom analyser mynna ut i mer ekonomiskt fördelaktiga beslut. Men förekommer mycket akuta uppdrag är det svårt att ta faktadrivna beslut och en stor andel förutbestämda beslut kan försämra effektiviteten. *Trigger based* beslut blir därför mer lämpligt i dessa fall (Teoh, 2022). Det förutsätter dock att föraren har rätt kunskap och är betrodd att göra rätt beslut. I dessa fall underlättar det att föraren idag har ett befintligt stort eget ansvar.

6.4 Att tillämpa metodiken

De delar som tidigare beskrivits i kapitel 6 summerar till en metodik som presenteras i Figur 34 nedan. Metodiken ämnar initiera en process mot ett elektrifierat logistiksystem för att sedan underlätta val av batterikapacitet och laddstrategi då dess behov uppkommer ur de förändrade förutsättningarna som kommer med elektrifiering. Utformning av fordonsflottan är tätt förknippat med val av laddstrategi (Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022) vilket bidrar till att dessa två beslut inte kan fattas separat från varandra. Den grå cirkeln illustrerar detta och poängterar att metodiken bör användas i en loop för att kontinuerligt effektivisera och förbättra besluten. Metodiken är utformad för att tillämpas för fordonsägande och transportplanerande aktör, exempelvis transportör eller transportplanerande transportköpare.



Figur 34: Modell för uppskalning av elektrifierade transporter. Framtagen av författarna med syfte att underlätta uppskalning av elektrifierade fordon för fordonsägande och planerande aktör.

7 Nuläget hos transportör och transportköpare och vad som skiljer dem åt

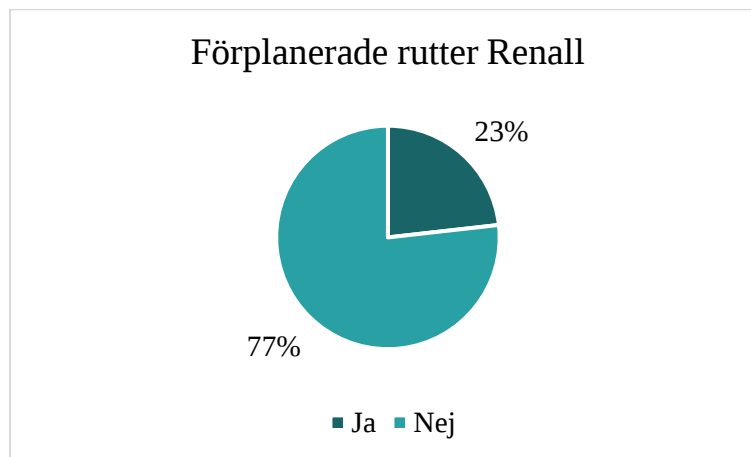
I följande kapitel besvaras huvudfråga 2 genom att presentera empiri om fallföretagens logistiksystem och fordonsflottor. Avsnitt 7.5 är av analyserande karaktär där den tidigare presenterade empirin jämförs.

7.1 Hur ser dagens logistiksystem ut hos Renall?

I följande avsnitt presenteras empiri från intervjuer med chaufförer, transportplanerare och personal med chefsposition på Renall. I Renalls logistiksystem inkluderas beskrivning av daglig planering och kundrelationer vilket ämnar besvara underfråga 2.1a.

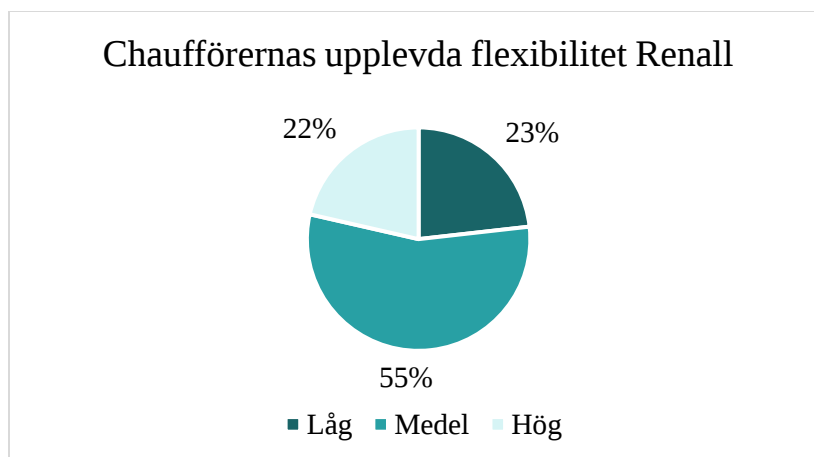
7.1.1 Daglig planering

De flesta av Renalls fordon styrs av deras transportledning, vilka har som uppgift att säkerställa att uppdragen utförs som önskat. I intervjuer med transportledningen framgick att beroende på uppdrag planeras och styrs bilarna utifrån deras olika förutsättningar. Baktömmande fordon har till exempel fasta rutter medan det inte är möjligt för bilar där privatpersoner eller företag behöver oförutsedd hjälp, exempelvis för att filma och spola avlopp. Fördelningen ses i [Figur 35](#) nedan.



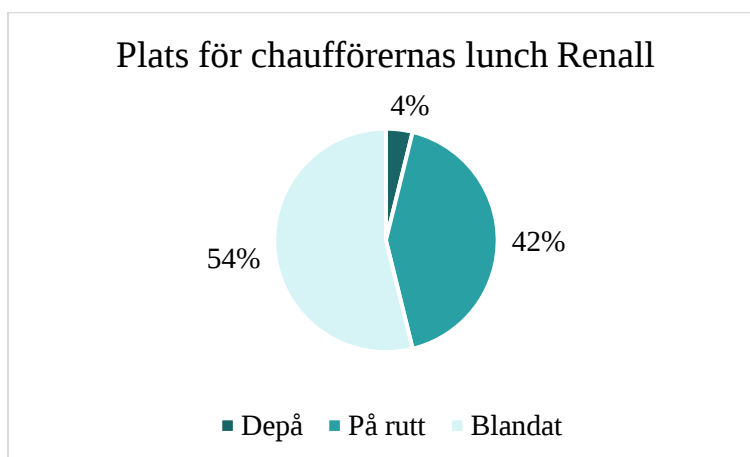
Figur 35: Sammanställning av andelen fordon med fasta rutter för Renall.

Transportledningen tar fram en plan för nästkommande dag, men det är i vissa fall upp till chauffören att avgöra dess lämplighet och har möjlighet att ändra ordning i planeringen så länge uppdragen utförs som lovat. Utifrån intervjuer med chaufförer presenteras i [Figur 36](#) nedan en fördelning av chaufförernas upplevda flexibilitet.



Figur 36: Chaufförernas upplevda flexibilitet, Renall.

Förutom chaufförernas upplevda flexibilitet gällande uppdragen finns även en valmöjlighet för när och var chaufförerna tar rast, då detta enligt transportplaneringen vanligtvis inte planeras av dem. Chaufförerna uppger att de tar rast när det passar med uppdragen de utför och därmed på den plats de befinner sig på vid det tillfället. En liten andel tar vanligtvis sin lunchrast på depån av sociala skäl vilket är möjligt då dessa har närliggande uppdrag. Fördelningen presenteras i Figur 37 nedan. De fordonstyper som hanterar containrar återkommer även till depå för att hämta nya containrar som ska ut till kund. Närheten till depån är även kort för de fordon som genomför regelbundna tömningar av avfall, då dessa tömningsplatser ligger i närhet till depån.



Figur 37: Plats för chaufförernas lunch, Renall.

Transportledning är uppdelat för respektive fordonstyp. Vid intervju med transportledningen har det framkommit att varje avdelning av transportledningen har sina egna arbetssätt där bland annat fysiska turlistor, Google-kalendrar eller delning via Renalls IT-system är exempel på system som transportledningen tillämpar för att planera fordonen. De olika systemen som tillämpas saknar samtliga möjligheten att inkludera räckvidd och laddning. Enligt transportplaneringen är bristen på anpassade IT-system något som bidrar till en hög

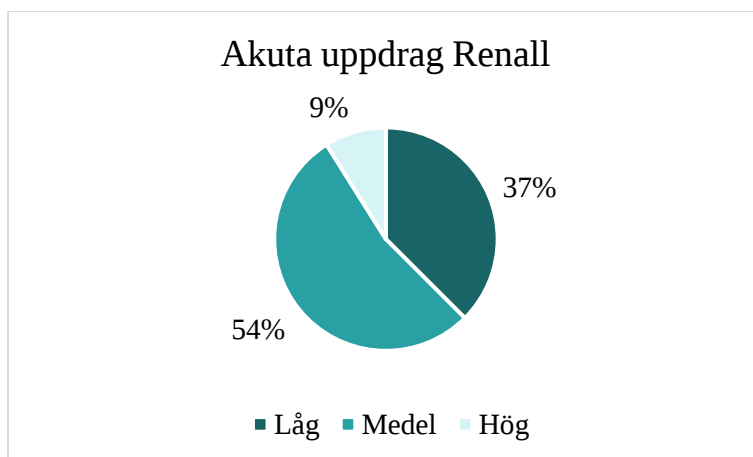
arbetsbelastning. Något som även framkommer relaterat till IT-system är att dess brister försvårar uppföljning av förarbeteenden. I intervju med chaufförerna framgår det att det både är inställning och intresse men även hur återkopplingen kan erhållas som är bidragande faktorer till hur aktivt chaufförerna väljer att fokusera på eco-driving. De chaufförer med nyare fordon där återkoppling kan erhållas från displayer i fordonet uppger att motivationen för eco-driving ökar. Dock saknas den återkopplingen från kollegor på kontoret, vilket därmed sänker motivationen.

Vid intervjuer framkom det att majoriteten av chaufförerna inte önskar dela fordon med varandra och det uttrycks en stark önskan att vara den enda chauffören som framför ett visst fordon. De motiverar det delvis med att det ökar kontrollen över vardagligt underhåll, vilka samtliga chaufförer uppger att de bör genomföra. Detta underhåll varierar i tid men tar cirka en timma i veckan och genomförs när det passar chauffören.

7.1.2 Kundrelationer

I intervjuer med personal i chefspositioner på Renall framkom det att Renall erbjuder tjänster för företag, offentliga verksamheter och privatkunder. Beroende på typ av kund ser upphandlingsprocessen olika ut då de offentliga verksamheterna faller inom ramen för lagen om offentlig upphandling (LOU). När det gäller offentliga verksamheter och företag förekommer längre och återkommande uppdrag, medan det hos privatpersoner ofta handlar om enskilda uppdrag.

Enligt anställda med chefspositioner på Renall är de en etablerad aktör inom samtliga tre segment, med stor potential att växa inom den privata sektorn om de utökar sin marknadsföring. Renall anser att de kan tillgodose alla typer av kundkrav men att förfrågningar som inte tillhör det ordinarie tjänsteutbudet medför extrakostnader. Hur kunderna formulerar uppdragen påverkar hur uppdragen kan genomföras då vissa kundkrav, exempelvis tidpunkt för utförandet, kan försvåra planeringen. Snabba förändringar eller akuta uppdrag är ytterligare ett exempel på kundkrav. Utifrån intervjuer med chaufförer och transportplanering kan förekomsten av akuta uppdrag per fordon sammanställas (*Figur 38*). Beroende på fordonstyp har Renall en uttalad inställetid vilket innebär att dessa akuta uppdrag ska vara genomförda inom ett visst antal timmar eller dygn.



Figur 38: Förekomsten av akuta uppdrag per fordon för Renall.

Enligt anställda med chefspositioner på Renall verkar de inom en hårt konkurrensutsatt marknad med flera konkurrenter inom varje marknadssegment. De differentierar sig genom sitt miljöengagemang och kan särskilja sig från konkurrenter genom att köra fossilfritt. Det medför dock högre kostnader, något som speglar sig på priset till kund. Renall påverkas av att den marknad de arbetar inom är säsongsbetonad där beläggningen är högre under vår och sommar.

7.2 Hur ser dagens logistiksystem ut hos Returpack?

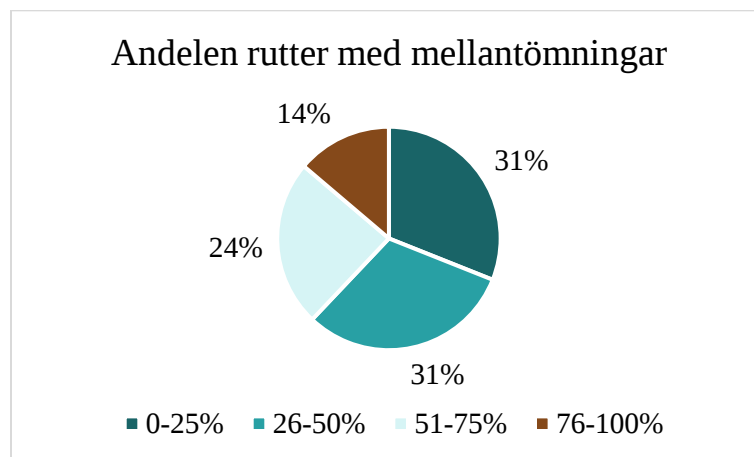
I följande avsnitt presenteras empiri från samtal med transportplanerare och logistikutvecklare på Returpack. I Returpacks logistiksystem inkluderas beskrivning av planering och kundrelationer vilket ämnar besvara underfråga 2.1b.

7.2.1 Daglig planering

Returpacks fordon styrs av deras transportledning, vilken består av tre personer som har i uppgift att säkerställa att panten hämtas vid lämpligt tillfälle. Detta görs för att försörja produktionen samt undvika överfulla butiker. Returpacks logistikutvecklare förklarade att personalens arbetsuppgifter är uppdelade i geografiska områden. Insamling med komprimatorbilarna är planerade på fasta rutter där varje hämtning och tömning har ett exakt klockslag för när hämtningen är planerad. Dessa kan dock tidigareläggas eller senareläggas om chauffören påbörjar skiftet annan tid än 07:00. Rutterna kan variera beroende på om det är en jämn eller ojämn vecka. Dessutom varierar rutterna mellan dagarna under respektive vecka. Det ger upphov till 14 olika rutter, vilka numreras från 1-14 där ruttnummer 1 motsvarar måndagar, ruttnummer 2 motsvarar tisdagar etcetera. Vissa fordon nyttjas samtliga 14 dagar, medan vissa har dagar där fordonet står helt stilla.

Transportledningen tar fram en plan för nästkommande rutt, vilken chauffören bör följa vid genomförandet av rutten. De övergripande schemana med tider för rutterna släpps fyra veckor innan genomförandet medan de faktiska rutterna skickas från Returpack till transportören dagen innan den ska genomföras. Utifrån intervjuer med logistikutvecklare presenteras att

chaufförernas flexibilitet och grad av egna beslut är låg då de förväntas följa de planerade rutterna. Förutom flexibilitet gällande uppdragen har även flexibiliteten för när och var chaufförerna tar rast studerats, då detta enligt logistikutvecklarna vanligtvis inte planeras av Returpack. Rast tas när det passar med hämtningarna de utför och därmed på den plats de befinner sig på vid det tillfället. Mellantömningar planeras av transportplaneringen och behövs då hämtad pant uppnår maxvolym i komprimatorskåpet. Fördelningen av mellantömningar presenteras i *Figur 39* nedan där det visualiseras hur stor andel av fordonsflottan som mellantömmer på 0-25%, 26-50%, 51-75% respektive 76-100% av sina rutter. Vissa fordon mellantömmer alltså på samtliga rutter medan vissa inte mellantömmer på någon av sina rutter.



Figur 39: Förekomst av mellantömning, Returpack.

Vid intervju med logistikutvecklarna har det framkommit att samtliga medarbetare på transportplaneringen arbetar i ett ruttoptimeringssystem där teamledaren för transportplaneringen har det övergripande ansvaret för att uppdatera och optimera rutterna. I systemet kan begränsande villkor inkluderas. Det kan exempelvis vara körd sträcka som skulle kunna användas för att ta hänsyn till ett elektrifierat fordon begränsade räckvidd. Idag saknar Returpack möjligheten att ta del av uppföljning av förarbeteenden.

Enligt logistikutvecklare på Returpack önskar majoriteten av chaufförerna att inte dela fordon med varandra och det uttrycks en stark önskan att vara den enda chauffören som framför ett visst fordon. De motiverar det delvis med att det ökar kontrollen över vardagligt underhåll, vilket chaufförerna bör genomföra, med då utanför den tid som Returpack betalar ersättning för då detta inkluderas i kilometerpengen.

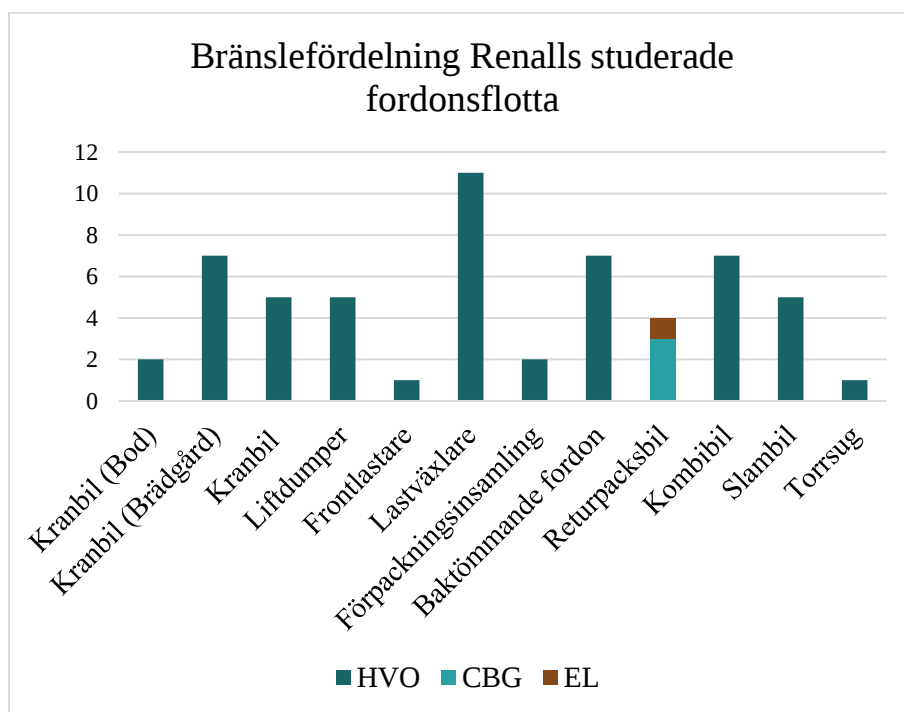
7.2.2 Kundrelationer

Returpacks komprimatorbils kunder är cirka 3 200 butiker med pantautomat och cirka 70 återvinningscentraler. I intervjuer med logistikutvecklare på Returpack framkom det att kunderna ibland ställer krav på att de enbart kan ta emot en hämtning i ett visst leveransfönster, då det krävs personal för att ge chauffören tillträde till panten. Det innebär att hämtningarna begränsas

till butikens öppettider samt tidpunkt då de kan avsätta en person ur personalen. Att få tillträde kan ibland vara tidskrävande då butikspersonal ibland inte är anträffbara på telefonen. Det bidrar till att schemat ej kan hållas då varje stopp enbart har några minuter avsatt i schemat. I dagsläget tillgodoser Returpack dessa kundkrav av anledningen att butikernas samarbetsvilja enligt logistikutvecklarna ofta är låg och det därmed är smidigare att anpassa sig efter deras krav. Då pantmönstret beror på yttre omständigheter exempelvis väder eller förekomst av större evenemang kan det hända att det uppstår akuta behov av tömning i butiker. Denna förekomst beskrivs enligt logistikplanerna som medel, vilket innebär att de erhåller samtal om akuta uppdrag men att de själva väljer att skjuta på dem då de inte har någon inställetid och hämtningen planeras i stället in när det passar på en rutt. Det innebär att butikerna kan få vänta ett par dagar trots deras önskemål om akut tömning.

7.3 Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Renall?

Som nämnt i situationsbeskrivningen består Renalls fordonsflotta i Norrköping av drygt 100 fordon av olika karaktär, vilket medför att de kan utföra olika typer av kunduppdrag. I denna studie inkluderas tunga lastbilar vilket för Renalls fall exkluderar personbilar, skåpbilar, spolbussar och jourbilar. De studerade fordonen tillhör Norrköpingskontoret men flertalet av fordonen är stationerade på den ort de är verksamma i, exempelvis Åtvidaberg, Söderköping eller Valdemarsvik. Renalls studerade fordonsflotta presenteras i *Figur 40* nedan och utreds för att besvara underfråga 2.2a.

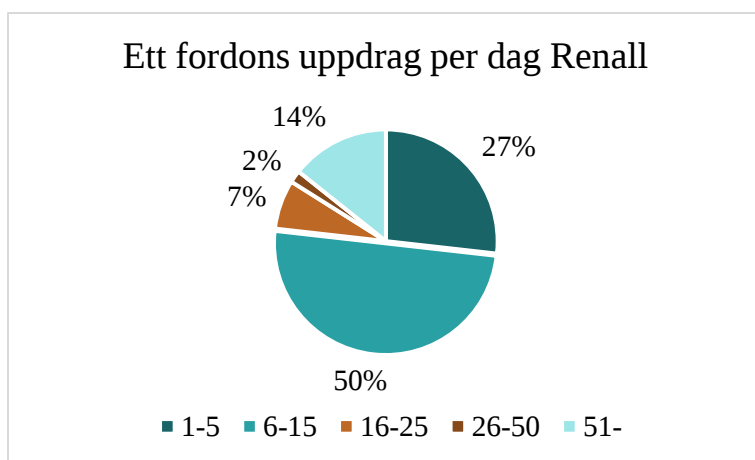


Figur 40: Bränsletyper för Renalls studerade fordonsflotta årsskiftet 2023/2024.

Renalls fordonsflotta består till största del av olika kranbilar samt sopbilar men innefattar även ett betydande antal lastväxlare och liftdumpers. Den studerade fordonsflottan består av fordon av årsmodell mellan 2004-2023, där de äldsta vanligtvis byts ut först i syfte att ha en modern fordonsflotta.

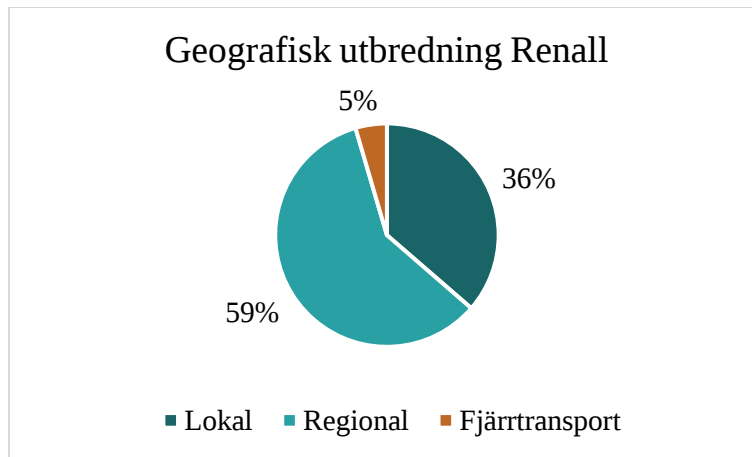
7.3.1 Fordonens karakteristik

Hur många uppdrag som ett fordon hos Renall utför på en dag varierar stort (*Figur 41*). Ett exempel är den lokala sopbilen som kan tömma cirka 300-350 kärl per dag, vilket motsvarar 300-350 uppdrag. På motsatt sätt finns kranbilar som vanligtvis inte hinner med fler än fyra uppdrag per dag eftersom de gör längre och större uppdrag.



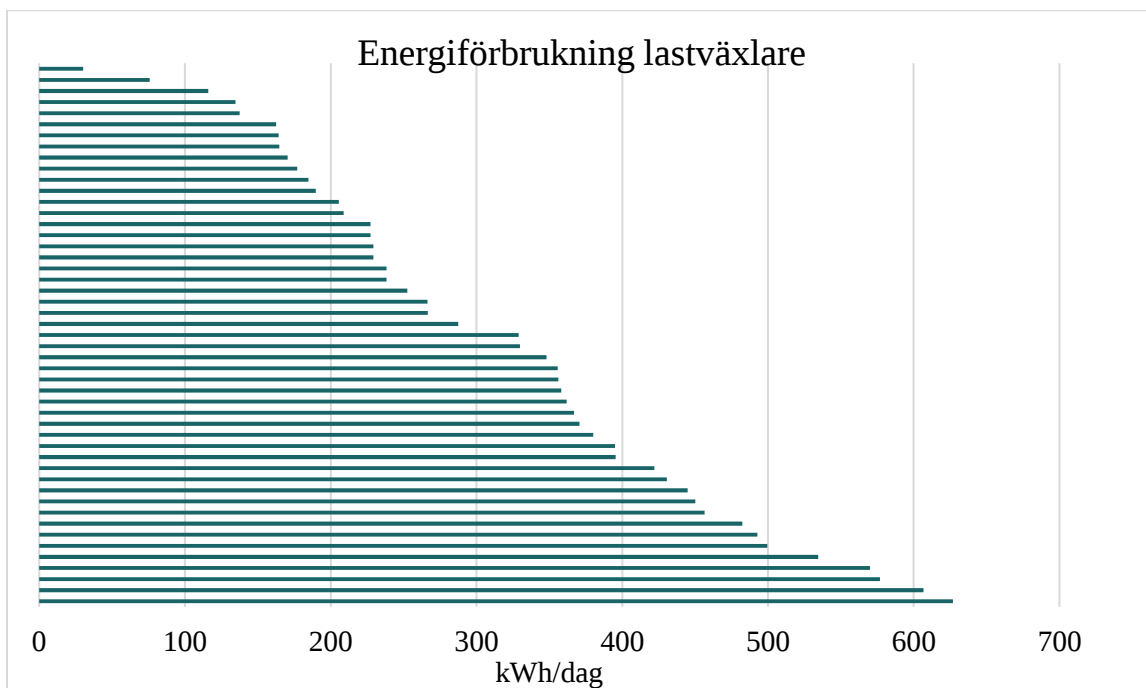
Figur 41: Sammanställning av antal uppdrag genomförda av Renall fordon per dag.

Hos Renall förekommer fjärrtransporter ett fåtal gånger per månad, vilket exempelvis innebär transporter från Norrköping upp till Skellefteå och tillbaka med en kranbil. Övriga transporter sker vanligtvis i Östergötland med vissa undantag till exempelvis Stockholm eller Västerås för att genomföra tömningar (*Figur 42*).



Figur 42: Maximal geografisk utbredning för Renalls fordon.

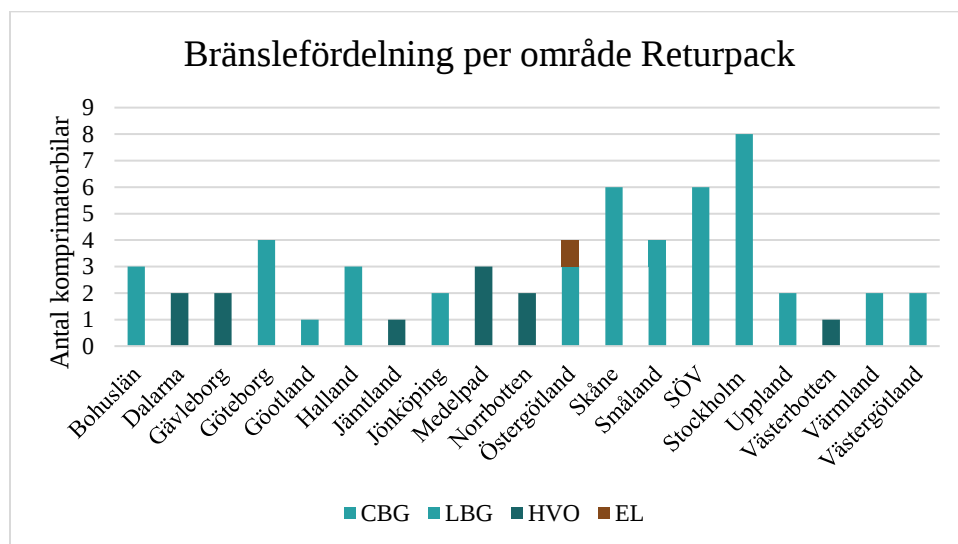
Till följd av den varierande uppdragskaraktistiken och de olika fordonstyperna varierar energibehovet mellan Renalls fordon. Fordon med höga kraftuttag såsom exempelvis torrsug har högre energiförbrukning. Energiförbrukningen ökar även om ett fordon genomför större andel regionala- och fjärrtransporter eftersom den körda sträckan ökar. Energiförbrukningen för samtliga av Renalls studerade fordonstyper har beräknats för varje aktiv dag under mars-maj 2024 och i [Figur 43](#) nedan visas ett exempel på hur energiförbrukningen varierar mellan dagarna för en lastväxlare. Energiförbrukningen i figuren varierar mellan cirka 30-630 kWh per dag, vilket kommer ligga till grund för batteridimensioneringen, laddstrategier och kostnadsanalys.



Figur 43: Energiförbrukningen för en lastväxlare under mars-maj 2023.

7.4 Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Returpack?

Som tidigare nämnt har Returpack 58 komprimatorbilar i bruk vilka är fördelade på 20 insamlingsområden och transporterar till 24 mellanlager över hela Sverige. Historiskt sett har de haft en hög andel fordon med HVO som drivmedel, men sedan år 2021 har en övergång till biogas påbörjats. Fordonens bränslefördelning för årsskiftet 2023/2024 presenteras i *Figur 44* nedan.

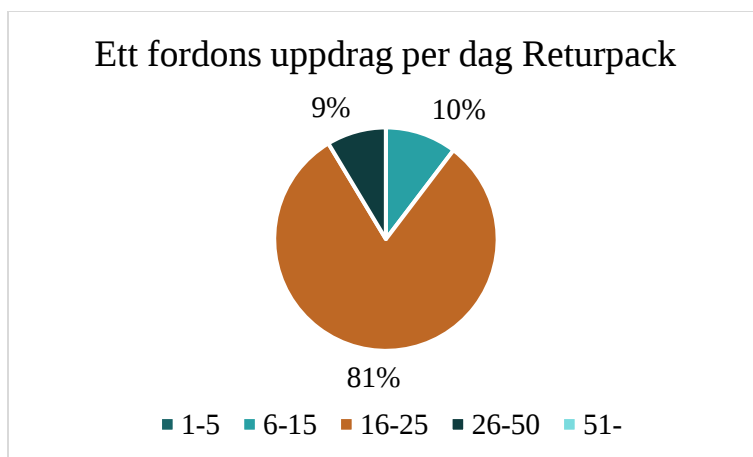


Figur 44: Bränslefördelning för Returpacks fordonsflotta årsskiftet 2023/2024.

Returpacks logistikutvecklare förklarar att komprimatorskåpen på Returpacks bilar är under högt slitage och har en livslängd på de dryga 5+2 år som avtalen gäller. Skåpen är således ofta uttjänade när kontraktslängden med leverantörerna gått ut, även om chassit i sig har en längre livslängd. Det finns möjlighet att byta ut skåpet, men det är ännu något som Returpack inte har provat. Obalans i livslängd mellan chassi och skåp samt tillhörande ersättningsmodell är en diskussionspunkt som hålls med transportörerna. En av Returpacks transportörer, Renall, uppger även att de haft många problem med att skåpen går sönder.

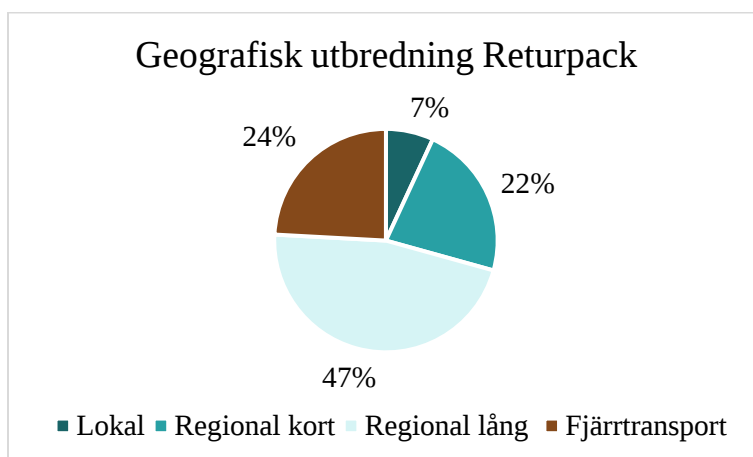
7.4.1 Fordonens karakteristik

Hur många uppdrag som Returpacks chartrade fordon genomför under en dag varierar mellan fordon och rutter. Fördelningen av medelvärde av antalet uppdrag för respektive fordon presenteras i *Figur 45* nedan. Vid färre antal uppdrag är antingen körd sträcka mellan uppdragen längre eller tiden för ruten kortare.



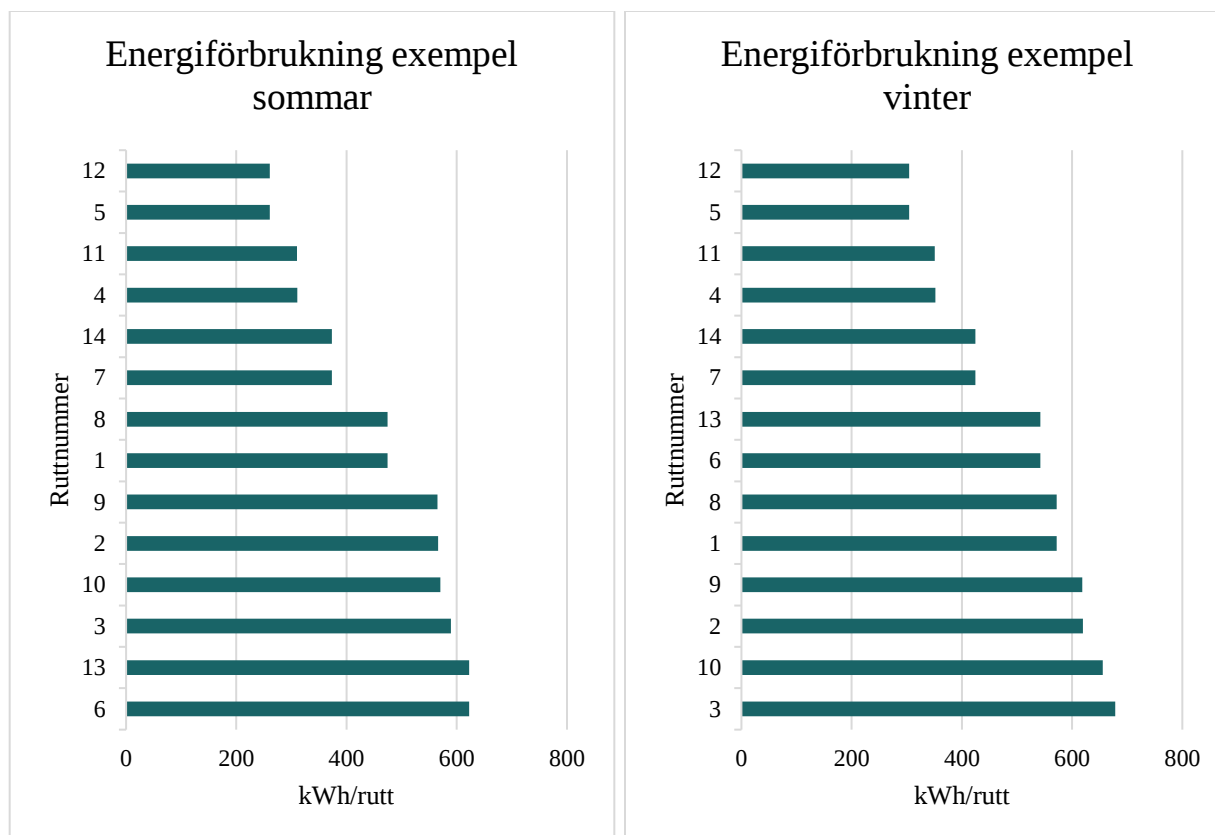
Figur 45: Sammanställning av antal uppdrag genomförda per dag och fordon för Returpack.

För Returpack varierar längden av rutterna från cirka 8 mil till upp över 45 mil. Lokala transporter sker i närområdet till depån och är därmed inte längre ifrån depån än fem mil. De flesta av rutterna är av längre regional karaktär, då cirka 26–35 mil, vilket visas i [Figur 46](#) nedan.



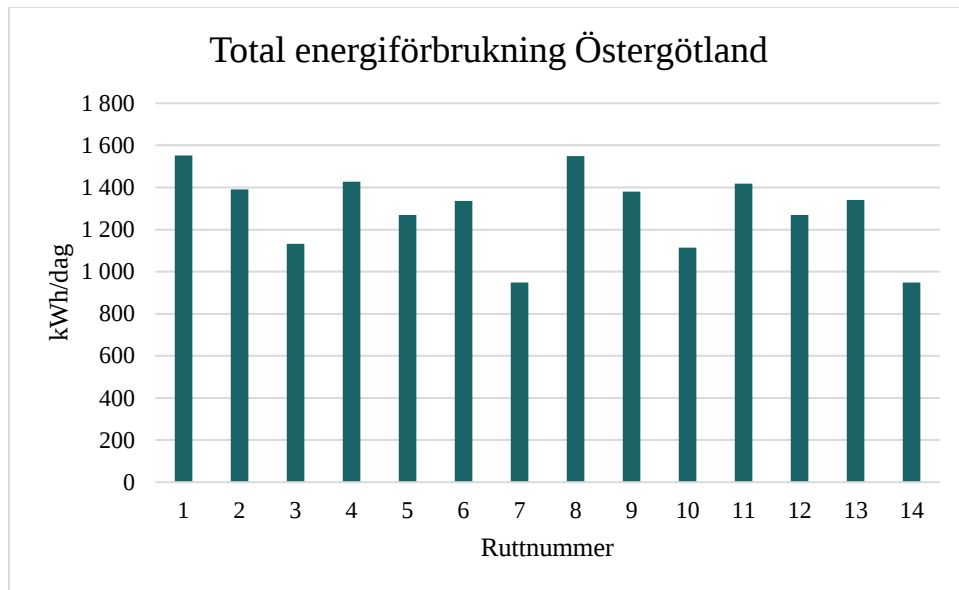
Figur 46: Geografisk utbredning för Returpacks fordon.

Till följd av geografisk utbredning och antal uppdrag varierar energibehovet mellan Returpacks fordon. Energiförbrukningen ökar om ett fordon genomför större andel regionala rutter eftersom den körda sträckan ökar. Energiförbrukningen för Returpacks samtliga 58 fordon har beräknats för 14 planerade sommar- respektive vinterrutter. I [Figur 47](#) nedan visas ett exempel på hur energiförbrukningen varierar mellan rutterna för en komprimatorbil i området Östergötland. Exempelfordonet nyttjas samtliga dagar under fjortondagarsperioden både sommar och vinter. Varje dag representeras av ett ruttnummer (1-14), där ruttnummer 1 motsvarar måndag, ruttnummer 2 motsvarar tisdag etcetera. Dessa ruttnummer kan utläsas på y-axeln i figuren. Energiförbrukningen i figuren varierar mellan cirka 250-630 kWh per rutt, vilket ligger till grund för batteridimensionering, laddstrategier och kostnadsanalys.



Figur 47: Energiförbrukning för respektive rutt under sommar och vinter för ett av Returpacks fordon.

I Östergötland finns fyra fordon vars summerade dagliga energiförbrukning presenteras i [Figur 48](#) nedan. Samtliga fyra fordon nyttjas inte varje dag, vilket ger upphov till en ojämnhet i total energiförbrukning i Östergötland. Dessutom varierar energiförbrukningen för respektive fordon mellan rutterna, vilket exemplifieras i [Figur 47](#) ovan. Exempelvis kan det utläsas ur [Figur 48](#) att den totala energiförbrukningen är högre måndagar (rutt 1 och 8) men lägre söndagar (rutt 7 och 14). [Figur 47](#) och [Figur 48](#) används tillsammans som underlag vid utredning av möjligheterna för utjämnningen av rutter.



Figur 48: Energiförbrukningen för område Östergötland under en sommarperiod på 14 dagar.

Vid samtal med logistikutvecklare presenteras att Returpack helchartrar sin fordonsflotta vilket innebär att det är deras leverantörer som står som ägare av fordonen. Valet av leverantör görs som tidigare nämnt enligt upphandling där antalet möjliga leverantörer skiljer sig även utifrån vilket område i Sverige som studeras. Generellt finns det fler möjliga aktörer i södra Sverige än i norra Sverige. Idag har Returpack 15 transportleverantörer som sköter insamling av lösviktsflödet. I Tabell 26 nedan återfinns en sammanställning av Returpacks områden och deras fordonsflottor.

Tabell 26: Returpacks nuvarande avtal med transportleverantörer i respektive område och avtalens utgångsdatum.

Område	Avtalspart	Antal fordon
Göteborg	Transportleverantör B	4
Stockholm	Transportleverantör J	8
Gotland	Transportleverantör C	1
SÖV (Södermanland, Västmanland, Örebro)	Transportleverantör I	6
Jönköping	Transportleverantör M	2
Skåne	Transportleverantör J	6
Västergötland	Transportleverantör O	2
Östergötland	Transportleverantör K	4
Bohuslän	Transportleverantör N	3
Halland	Transportleverantör F	3
Småland	Transportleverantör J	4
Uppland	Transportleverantör H	2
Värmland	Transportleverantör D	2
Västerbotten	Transportleverantör E	1
Norrbotten	Transportleverantör A	2
Medelpad	Transportleverantör L	3
Jämtland	Transportleverantör E	1
Dalarna	Transportleverantör G	2
Gävleborg	Transportleverantör G	2

Leverantören ska utöver transporterna kunna erbjuda mellanlager. Returpack utgår från tyngdpunktsberäkningar och sätter därefter krav på dess placering. Om leverantörer inte har befintlig mark och lokal krävs omfattande och tidskrävande arbete för att möjliggöra lager. Dessa barriärer gör att antalet möjliga leverantörer minskar då de behöver ha kapacitet att erbjuda en god helhet.

7.5 Vilka likheter och skillnader kan identifieras hos Renall och Returpack?

Följande avsnitt ämnar belysa skillnader och likheter i nuläget hos Returpack och Renall men även agera som sammanfattning av kapitel 7. För att förtydliga kopplingen mellan företagen och belysa de skillnader som identifierats presenteras härmed en sammanställning av företagens karakteristik med fokus på sex olika teman för att därmed besvara underfråga 2.3. I avsnittet belyses även identifierade kopplingar för hur karakteristiken hänger ihop.

7.5.1 Ett fordon's uppdrag per dag

Vid jämförelse av antal uppdrag utförda per dag kan det i *Figur 41* och *Figur 45* utläsas att Returpacks fordon till stor del genomför fler uppdrag per dag. Det innebär att de antingen genomför kortare uppdrag sett till tid eller körd sträcka. Det stärks av jämförelsen av den körda sträckan för respektive fordon, där Returpacks fordon vanligtvis går längre sträckor. För Renall finns en koppling mellan antal uppdrag, körd sträcka och kraftuttag, där få uppdrag antingen kan innebära fjärtransporter åt en och samma kund eller stillastående uppdrag med stort kraftuttag vilket ofta är fallet för exempelvis fordonet torrsug. Det finns även en koppling mellan de fordon som går på förplanerad rutt och antal utförda uppdrag, då dessa vanligtvis är större till antalet för fordon med förplanerad rutt.

7.5.2 Geografisk utbredning

Vid jämförelse av den geografiska utbredningen som definieras av distansen mellan uppdrag och depå kan det konstateras att Renall och Returpacks fordon båda har övervägande regionala rutter. Renall har dock vissa fordon som genomför långa fjärtransporter. Även Returpack har enligt arbetets definition fjärtransporter. När dess studeras ytterligare kan det dock konstateras att dessa inte överstiger 50 mil, vilket de gör för Renall. Anledningen till dessa är att Renall genomför uppdrag enligt kundens önskemål och bör därmed vara flexibla gällande den geografiska lokaliseringen för att säkerställa beläggning på fordonen, vilket kan innebära rutter från Östergötland till exempelvis Norrbotten. Returpack har i stället valt att definiera flera områden som innefattar fordonens uppställningsplats, något som ger depåer på fler platser i landet och således minskar körsträckan och den geografiska utbredningen. Därmed identifieras en koppling mellan antalet depåer och den geografiska utbredningen.

7.5.3 Andelen förplanerade rutter och chaufförernas flexibilitet

Samtliga av Returpacks komprimatorbilar har förplanerade rutter till skillnad från Renall där endast 23% av fordonen har förplanerade rutter. En koppling till förarnas flexibilitet har identifierats, vilken för Returpack är låg eftersom deras fordon går på förplanerade rutter. För Renall kan dock chaufförer uppleva flexibiliteten som hög trots att deras fordon planeras av transportplaneringen. Det kan bero på att en flexibilitet finns när ruten påbörjas och när lunchen tas, vilket kan blandas ihop med flexibiliteten på när uppdragen ska genomföras. Återkommande är behovet av chaufförsflexibilitet då dagarna inte har fasta rutter planerade av transportplaneringen.

7.5.4 Andelen akuta uppdrag

Trots att Returpack ofta får förfrågningar från butiker om akuta hämtningar genomförs inte alltid dessa då Returpack inte har någon inställelsetid utan kan planera in hämtningen när det passar med deras scheman. Det kan kopplas till deras maktposition. Renall har till skillnad från Returpack ofta en inställelsetid, vilket innebär att de bör genomföra det akuta uppdraget inom ett visst antal timmar. Det innebär att de måste kunna genomföra de akuta uppdragen snarast och det

kräver en flexibilitet i systemet. Inställelsetiden och andelen akuta uppdrag är beroende av fordonstyp, där fördelningen kopplar till fordonsflottans utformning. En koppling mellan andelen akuta uppdrag och förplanerade rutter har identifierats då det är svårt att hinna med akuta uppdrag vid strikt planerade rutter. Denna analys korrelerar med Returpacks hantering av akuta uppdrag då de enbart kan genomföra dessa om de befinner sig i närheten av dess lokalisering. Detta till följd av deras strikt planerade rutter.

7.5.5 Återkomst till depå under rutt

I *Tabell 27* nedan visas jämförelser mellan Renalls och Returpacks fordon. Där ses att det är vanligare för Returpacks fordon att de återkommer till depå under rutt. Detta då de återvänder till depå i samband med mellantömning, vilket görs på 44% av rutterna. För Renall finns en koppling mellan de fordonstyper som hanterar containrar, då dessa står uppställda på Renalls depå. De som hämtar containrar på depå försöker även genomföra lunchen där. Planeringen för lunch är dock densamma för chaufförerna då de själva ansvarar för att ta sina raster enligt lagstiftningen samt har möjlighet att planera in dem så det passar med uppdragen. I dagsläget går det därmed inte att säkerställa för vare sig Renall eller Returpack att fordonet står parkerat på depån under chaufförens rast.

Tabell 27: Jämförelse mellan Renall och Returpack för några kategorier.

Kategori	Renall	Returpack
Ett fordons uppdrag per dag	Renall färre	Returpack fler
Geografisk utbredning	Regional	Regionalt kort / Regional lång
Andelen förplanerade rutter	20%	100%
Chaufförernas flexibilitet	Medel	Låg
Andelen akuta uppdrag	Medel/hög	Låg
Återkomst till depå under rutt	Förekommer vid rast	Ovanligt vid rast Vid mellantömning

I analysen ovan har det konstaterats att viss karakteristik har kopplingar till varandra och påverkas därmed av förändringar av en viss karakteristik. I *Tabell 28* och *Tabell 29* nedan sammanställs de kopplingar av karakteristik som identifierades vid analysen av likheter och skillnader.

Tabell 28: Identifierade kopplingar mellan karaktistiken utifrån tre teman: Andelen förplanerade rutter, chaufförernas flexibilitet och andelen akuta uppdrag.

Andelen förplanerade Rutter	Chaufförernas flexibilitet	Andelen akuta uppdrag
Låg	Hög	Hög
Hög	Låg	Låg

Tabell 29: Identifierade kopplingar mellan karaktistiken utifrån tre teman: Antal uppdrag per dag och fordon, geografisk utbredning (här kallad körd strecka mellan uppdragen) samt tid per uppdrag.

Ett fordon antal uppdrag per dag	Körd strecka mellan uppdragen	Tid per uppdrag
Högt	Låg	Låg
Lågt	Hög	Hög

8 Applicering av metodikmodellen hos fallföretagen samt likheter och skillnader i genomförandet

I följande kapitel besvaras huvudfråga 3 och presenterar genomförda analyser efter applicering av den utvecklade metodiken på fallföretagens logistiksystem och fordonsflottor. Dessutom utvecklas laddstrategier och genomförandet jämförs mellan aktörerna.

8.1 Hur kan Renall utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?

Att öka *effektiviteten*, *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten* i logistiksystemet bedöms genomförbart för Renall. Nedan diskuteras lösningarna från metodiken för att bedöma dess lämplighet för Renall och därmed besvara underfråga 3.1a, vilket genomförs enligt direktiv för bedömning presenterad i samband med metodiken i kapitel 6.

Nya **IT-system** har potential att öka *effektiviteten*, *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten*. Renalls IT-system för planering saknar möjlighet att inkludera räckvidd och laddning, vilket krävs för att planera och genomföra uppdrag med elektrifierade fordon. Det är dock idag återkommande för de flesta IT-system på marknaden (Chen, et al., 2020). Avsaknaden av ett optimeringsverktyg som inkluderar räckvidd och laddpunkter kommer ställa högre krav på personalen, vilka redan idag har mycket att göra. Därmed bedöms investering i ett förbättrat IT-system som nödvändigt för Renall, vilket medför en större omstrukturering med potential för större effektförbättringar. Dessa investeringar skulle därmed kunna ge en ökad *effektivitet* och *nyttjandegrad* då transportledningen kan nyttjas mer effektivt samt mer effektiva rutter kan skapas. Dessutom skapar det en kontroll då all data samlas på ett ställe vilket är positivt för *förutsägbarheten*. Samtliga av dessa tre grundpelare är viktiga för elektrifiering, dock innebär det stora investeringar. Dessutom krävs det att personalen lär sig och visar intresse i det nya IT-systemet, vilket kräver guidning från ledningen. När ett nytt IT-system är implementerat förbättras möjligheten för datadrivna beslut. För IT-system bedöms därmed den förväntade effekten som hög, medan genomförbarheten begränsas av de stora investeringarna och behovet av resurser för att få ut förväntad effekt och bedöms som låg.

Realtidsdata har potential att öka *effektiviteten*, *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten*. För Renall är steget långt mot realtidsdata kopplat till specifika uppdrag, då de idag saknar IT-system och kompetens för att samla in och tillämpa realtidsdata. Renall skulle kunna öka *effektiviteten* och *nyttjandegraden* genom att få tillgång till realtidsdata för laddinfrastruktur och fordonen då beslut kopplat till laddning kan genomföras mer välinformerat. Det har potential att minska laddtider och kötider, något som ökar *effektiviteten* och därmed ger möjlighet att öka *nyttjandegraden*. Den förväntade effekten bedöms dock som låg eftersom kunskapen som krävs för att få nytta av realtidsdata saknas. Dessutom behövs ett fungerande IT-system vilket i dagsläget saknas.

Lägre kundkrav har potential att öka *effektiviteten* och *förutsägbarheten*. För de fordon som inte har en förutbestämd rutt, men där chaufförer upplever att flexibiliteten är låg beror det oftast på kundernas krav. För Renall är det kundernas formulering av uppdragen och andelen akuta uppdrag med krav på korta ledtider som kan ge upphov till onödiga körsträckor och därmed sänkt *effektivitet*. Renall rekommenderas därmed att arbeta med kundrelationerna, där genomförbarheten dock begränsas av att deras kunder har andra leverantörer att konkurransutsätta med om Renall inte uppnår deras kravställning. Genom att tillåta att kunderna har dålig framförhållning innehåller idag låg *förutsägbarhet*. Genom att förlänga inställelsetid mot kund kan Renall skapa ett logistiksystem med ökad *effektivitet* och *förutsägbarhet*. Om antalet akuta uppdrag skulle kunna minskas finns en identifierad koppling till att kunna ha fler förutbestämda rutter, något som dock sker på bekostnad av chaufförernas flexibilitet. Den förväntade effekten för lägre kundkrav är därmed hög, medan genomförbarheten bedöms vara låg till följd av den konkurransutsatta marknaden.

Eco-driving har potential att öka *effektiviteten*. Som tidigare nämnt definieras ökad effektivitet som att utföra uppdrag med mindre andel resurser. Hur fordonet framförs har stor påverkan på dess energiförbrukning (Craig & Stanton, 2018) vilket blir än viktigare att hålla på en så låg nivå som möjligt för att begränsa resursbehovet. Genom utbildning och uppföljning av chaufförer finns möjlighet att spara en betydande mängd energi, vilket stärks av Craig & Stanton (2018) som redovisar att en hastighetssänkning kan minska förbrukningen upp mot 12%. Det är därmed av stor vikt att genomföra detta för att öka *effektiviteten* i systemet. Det bedöms genomförbart för Renall att se över förarbeteende då de har rollen som chaufförernas arbetsgivare. Då få chaufförer uppger att de i dagsläget inte arbetar aktivt med detta finns en identifierad förbättringspotential, vilket bidrar till att dess effekt bedöms vara hög. Förväntade effekten och genomförbarheten för eco-driving är därmed hög.

Aktivitet under laddning har potential att öka *effektiviteten* och *nyttjandegraden*. Att kombinera transportrelaterade aktiviteter med laddning (Teoh, 2022; Nåbo, et al., 2023) för att minska tiden då chaufförerna saknar sysselsättning och därmed nyttja resurserna bättre har goda möjligheter för Renall, då chaufförerna uppgav att de lägger cirka en timma i veckan på underhåll och att dessa kan förläggas när det passar chauffören. Om detta underhåll kan genomföras under stillestånd då laddning sker ökar *effektiviteten* eftersom laddning sker på tid som ändå inte hade nyttjats till att utföra uppdrag. Det bedöms genomförbart till följd av underhållets flexibilitet och kan således öka *nyttjandegraden* av både chaufför och fordon. Dock bedöms den förväntade effekten för aktivitet under laddning vara låg då det begränsas av de aktiviteter som finns att tillgå. Exempelvis upptar underhåll enbart en timma i veckan, vilket inte fyller den totala laddtiden *on route* för vissa fordon. Genomförbarheten bedöms dock enligt ovan resonemang vara hög.

Förlängda skift har potential att öka *effektiviteten* och *nyttjandegraden* då det i teorin finns uppdrag som skulle kunna genomföras kvällstid innan begränsningar för ljudvolym införs (Whitehead, et al., 2022; Pernestål Brenden, et al., 2017; Lindbom, et al., 2024). Det medför en

större omstrukturering med potential för större effektförbättringar. Det kräver dock att fler chaufförer är villiga att dela fordon, vilket inte är uppskattat enligt chaufförerna. Förlängda skift ses som en möjlighet framför allt på de uppdrag som går på slinga där uppdragen är korta och fordonet återkommer till någon av tömningsplatserna i närheten av depån. Det skulle ge en möjlighet för laddning och skiftbyte. Renall är även beroende av kundernas tillgänglighet, vilket innebär att effekten av förlängda skift inte kan erhållas om kunderna inte önskar Renalls tjänster under det förlängda skiftet. Förväntade effekten för förlängda skift bedöms därmed vara låg då det begränsas av kunderna. Även genomförbarheten bedöms vara låg till följd av chaufförernas inställning.

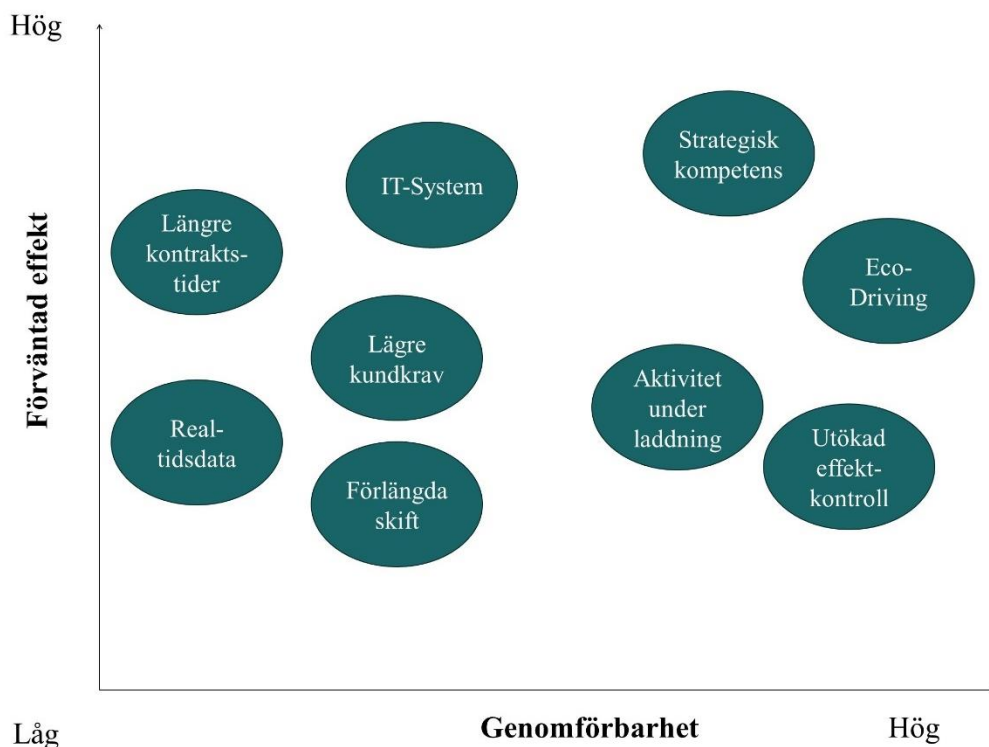
Utökad effektkontroll innebär utökad koll över sin elanvändning på depå och har potential att öka *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten*. För att möjliggöra laddinfrastruktur på depå bör Renall idag utöka sin effektkontroll (Axberg, et al., 2020). Detta arbete har påbörjats av Renall men det behöver fortsätta för att kunna föra en dialog med nätägaren och planera för ökad effektanvändning på egen depå. Genom att påbörja tidmätning på sitt el-abonnemang kan *förutsägbarheten* öka eftersom det ger en överblick av när effekttopparna uppstår och när det därmed förväntas bli billigare att ladda (Axberg, et al., 2020). Genom effektkontroll kan även planeringen av egen depåladdning förbättras och nyttjandegraden av dessa öka. I dagsläget har Renall dock begränsad depåladdning och få elfordon, vilket i dagsläget håller nere den förväntade effekten. Genomförbarheten är god till följd av den initierade dialogen samt den enkla möjligheten att aktivera tidmätning. Förväntade effekten för utökad effektkontroll bedöms i dagsläget därmed vara låg medan genomförbarheten bedöms vara hög. I framtiden när fordonswillan ökar ses detta dock som en viktig lösning för Renall.

Längre kontraktstider har potential att öka *förutsägbarheten* eftersom det krävs långsiktighet för att utveckla ett elektrifierat logistiksystem (Lindbom, et al., 2024; Uhrdin, et al., 2023). Det kan erhållas av längre kontraktstider (CLOSER, 2022) eftersom det säkerställer beläggning på bilarna över tid, vilket minskar investeringsrisken och osäkerheter vid kostnadsberäkningar. För Renall skulle det ge positiva effekter på *förutsägbarheten*, vilket innebär hög förväntad effekt. Dock krävs en vilja från transportköparen att ingå längre kontrakt, vilket det idag finns få transportköpare som uppfyller (med undantag från Returpack). Det leder till att genomförbarheten bedöms som låg.

Strategisk kompetens har potential att öka *effektiviteten* eftersom det enligt Lindbom et al. (2024) är viktigt för en organisation att säkerställa att personalen har rätt kompetens för att hantera den nya tekniken och snabba utvecklingen. Det medför en större omstrukturering med potential för större effektförbättringar. Genom att kunna tillgodose sig kunskap om teknikutvecklingen kan en transportör öka sin maktposition vilket är viktigt för Renall om de vill kunna påverka sina kunder (Martinsen, 2014). Eftersom det idag saknas roller som till stor del fokuserar på omställningen finns det en risk att Renall missar viktig omvärldsbevakning. Dessutom finns en risk att informationen som i dagsläget finns hos olika personer leder till suboptimering i vissa beslut. Detta då det vore fördelaktigt att koordinera och samla arbetet kring

elektrifiering för att säkerställa *effektiviteten* i processen. Då Renall bedöms vara en attraktiv arbetsgivare med sitt hållbarhetsengagemang bedöms genomförbarheten för att attrahera kunnig personal god. Förväntad effekt och genomförbarhet av strategisk kompetens bedöms därmed vara hög.

Resultatet av analyserna av respektive lösning sätts i perspektiv till varandra och presenteras i *Figur 49* nedan där de lösningar med hög genomförbarhet och hög förväntad effekt bör implementeras först.



Figur 49: Lösningarna presenterade utifrån förväntad effekt och genomförbarhet för Renall.

8.2 Hur kan Returpack utveckla sitt elektrifierade logistiksystem?

Att öka *effektiviteten*, *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten* i logistiksystemet bedöms genomförbart för Returpack. Nedan diskuteras lösningarna från metodiken för att bedöma dess lämplighet för Returpack och för att kunna besvara underfråga 3.1b. Bedömningen genomförs enligt direktiv för bedömning presenterad i samband med metodiken i kapitel 6.

Nya **IT-system** har potential att öka *effektiviteten*, *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten*. Returpack bedöms dock redan ha ett tillräckligt IT-system för att påbörja uppskalning. Det till följd av utformningen av nuvarande planering, då deras IT-system har möjlighet att inkludera

räckvidd i optimeringsalgoritmen. Att Returpack har välutvecklade system kan inte generaliseras för dess roll som transportköpare då det är ovanligt att transportköparen själv planerar rutterna trots att det av Haag, et al. (2024) beskrivs som vanligare till följd av rådande maktbalans. Skulle Returpack dock behöva förbättra sitt IT-system bedöms de ha både finansiella- och kunskapsresurser nog att genomföra det. Därmed bedöms den förväntade effekten av IT-system som låg medan genomförbarheten bedöms vara hög.

Realtidsdata har potential att öka *effektiviteten*, *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten*. Samtliga av Returpacks hämtningar sker på en förplanerad rutt där hämtningsfrekvensen planeras utifrån när en kund förväntas vara i behov av en hämtning. Då pantmönstret kan skilja sig mellan dagar och månader kan det innebära att behovet av hämtning inte motsvarar planerad hämtningsfrekvens. Genom att investera i exempelvis sensorer eller uppkopplade pantmaskiner kan hämtningsfrekvensen bli ett datadrivet beslut som bygger på realtidsdata. Realtidsdata kan därmed öka *effektiviteten* i Returpacks insamling eftersom det minskar fallen där en hämtning genomförs trots att den inte behövs. Realtidsdata bör dock inte komma i konflikt med *förutsägbarheten*. För att beräkna effekten av realtidsdata kan den historiska variationen i hämtad volym studeras för att identifiera andelen där hämtad volym inte motsvarar den beräknade hämtningsvolymen. Returpack skulle kunna öka *effektiviteten* genom att få tillgång till realtidsdata för laddinfrastruktur och fordonen, då beslut kopplat till laddning kan genomföras mer välinformerat. Det har potential att minska tid för laddning och trafikköer (Lindbom, et al., 2024), något som är viktigt om Returpack ska kunna fortsätta arbeta med strikt planerade rutter. Förväntad effekt och genomförbarhet för realtidsdata bedöms därmed vara hög.

Lägre kundkrav har potential att öka *effektiviteten* och *förutsägbarheten* då Returpacks kunder sätter begränsningar som påverkar hur *effektivt* användandet av fordonen är. Det kan exempelvis vara butikens begränsade öppettider och önskemål gällande tider för hämtning. Returpack rekommenderas därmed att arbeta med kundrelationerna, där deras maktposition i form av monopolist talar till deras fördel. Genom att avveckla leveransfönster, vilket i Returpacks fall kan liknas med butikens önskemål för när panten bör hämtas, kan *effektiviteten* och *nyttjandegraden* för fordonen öka (Björklund, 2011). Detta eftersom det möjliggör för Returpack att själva planera in när det passar, vilket kan minimera onödiga körsträckor samt möjliggör hämtningar vid andra tidsfönster än vad som nyttjas i dagsläget.

Eco-driving har potential att öka *effektiviteten*. Som tidigare nämnt definieras ökad effektivitet som att utföra uppdrag med mindre andel resurser. Hur fordonet framförs har stor påverkan på dess energiförbrukning (Craig & Stanton, 2018) vilket blir än viktigare att hålla på en så låg nivå som möjligt för att begränsa resursbehovet. Genom utbildning och uppföljning av chaufförer finns möjlighet att spara en betydande mängd energi. Det stärks av Craig & Stanton (2018) som redovisar att en hastighetssänkning kan minska förbrukningen upp mot 12%. Det är därmed av stor vikt att genomföra detta för att öka *effektiviteten* i systemet eftersom det hushåller med de energiresurser som ett fordon kan bära med sig. Detta är dock något som bedöms svårare för Returpack att genomföra till följd av att Returpack inte har rollen som chaufförernas

arbetsgivare. Förväntad effekt är därmed hög för eco-driving men genomförbarheten bedöms vara låg.

Aktivitet under laddning har potential att öka *effektiviteten* och *nyttjandegraden*. Att kombinera transportrelaterade aktiviteter med laddning (Teoh, 2022; Nåbo, et al., 2023) för att minska tiden då chaufförerna saknar sysselsättning och därmed nyttja resurserna bättre har goda möjligheter för Returpack, då obligatoriskt underhåll genomförs veckovis. Om detta underhåll kan genomföra under stillestånd då laddning sker ökar *effektiviteten*. Detta då laddning sker på tid som ändå inte hade nyttjats till att utföra uppdrag. Returpack ersätter dock inte tid för underhåll i dagsläget, vilket innebär att den ekonomiska effekten av aktiviteter under laddning blir låg. Dessutom bedöms genomförbarheten vara låg till följd av dess distans till chaufförerna eftersom Returpack har svårt att kontrollera när det genomförs.

Förlängda skift har potential att öka *effektiviteten* och *nyttjandegraden* eftersom det finns uppdrag som skulle kunna genomföras kvällstid innan begränsningar för ljudvolymen införs (Holguín-Veras, et al., 2017; Eriksson, et al., 2023). De medför en större omstrukturering med potential för större effektförbättringar. Det kräver dock att fler chaufförer är villiga att dela fordon, vilket inte är uppskattat enligt intervjuer med chaufförer hos en av Returpacks leverantörer. Förlängda skift kan bli en följd av den tid det tar att ladda under skiftet, vilket innebär att skiftet bör förlängas med motsvarande tid. För vissa fordon är det möjligt att genomföra detta och behålla samma chaufför medan det för andra fordon kan vara fördelaktigt att byta chaufför för att exempelvis kunna ladda mellan skiften. Effekten av detta bedöms som hög då det kan öka både *effektiviteten* och *nyttjandegraden* per fordon vilket kan ge följdeffekterna att en mindre fordonsflotta behövs för att klara panthämtningen. Genomförbarheten begränsas dock av att Returpacks volymer förväntas öka, vilket innebär att fordonsflottan till en början bör dimensioneras med viss överkapacitet. Dessutom finns risker med att samtliga fordon har en hög nyttjandegrad, då nuvarande slack i schemat som nyttjas till service etcetera försvinner. Förlängda skift bedöms få ökad effekt om hämtningarna även kan ske oassisterade av butikspersonal (Holguín-Veras, et al., 2017) då chaufförerna idag ofta behöver vänta på att butikspersonal ger åtkomst till panten som ska hämtas. Det bedöms öka *effektiviteten* då chaufförernas tid kan nyttjas till att framföra fordonet och genomföra hämtningar snarare än att vänta på tillträde. Dock krävs det investeringar för butikerna i form av utbyggnader samt taggar eller kod till utrymmet där panten förvaras för att möjliggöra detta. Förväntad effekt av förlängda skift bedöms därmed vara hög men genomförbarheten låg.

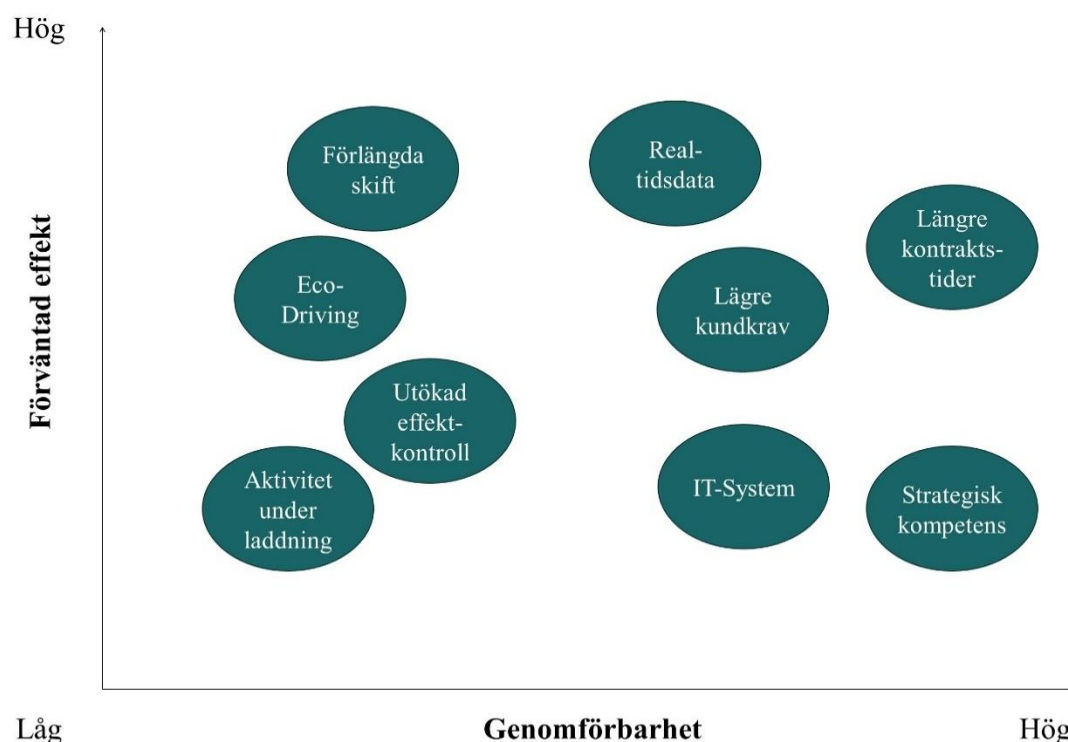
Utökad effektkontroll innebär utökad koll över elanvändningen på depå och har potential att öka *nyttjandegraden* och *förutsägbarheten*. För att möjliggöra för laddinfrastruktur på depå krävs att Returpack ställer krav på sina leverantörer att investera i laddinfrastruktur. För Returpacks leverantörer innebär det större investeringar samt behov av ny kompetens. Returpack bör informera sina leverantörer och arbeta påtryckande för att leverantörerna ska utöka sin effektkontroll. Genom att påbörja tidmätning på leverantörernas el-abonnemang kan *förutsägbarheten* öka eftersom det ger en överblick av när effekttopparna uppstår och när det

därmed förväntas bli billigare att ladda. Det är något som i sin tur påverkar Returpacks *förutsägbarhet* men till stor del transportörernas *nyttjandegrad* av laddpunkterna på depå. Förväntad effekt av utökad effektkontroll bedöms därmed vara begränsad för Returpack, vilket även stämmer för dess genomförbarhet. De båda faktorerna bedöms därmed vara låga.

Längre kontraktstider har potential att öka *förutsägbarheten* då det krävs långsiktighet för att utveckla ett elektrifierat logistiksystem (Lindbom, et al., 2024; Uhrdin, et al., 2023). Det kan erhållas av längre kontraktstider (CLOSER, 2022; Simm, 2024) eftersom det säkerställer beläggning på bilarna över tid vilket minskar investeringsrisken och osäkerheter vid kostnadsberäkningar. Det medför en större omstrukturering med potential för större effektförbättringar. För transportköpare är det därmed viktigt att ta ansvar för att säkerställa en hög *nyttjandegrad* och *förutsägbarhet*. Enligt CLOSER (2022) är kontraktslängder på 5 år önskvärt från transportörens sida, vilket även Returpack rekommenderas att upprätthålla som minimum. Returpack har genom sin roll som transportköpare stor makt över kontraktstiderna. Det bör dock överensstämma med fordonstillverkarnas garantier för att inte öka risken för transportörerna. Förväntad effekt och genomförbarhet är därmed hög för längre kontraktstider.

Strategisk kompetens har potential att öka *effektiviteten* då det enligt Lindbom et al. (2024) är viktigt för en organisation att säkerställa att personalen har rätt kompetens för att hantera den nya tekniken och den snabba utvecklingen. Genom att själva sköta transportplaneringen har Returpack införskaffat sig en god kunskap om den dagliga verksamheten samt hur transporterna fungerar och inte bara om kundbasen vilket enligt Simm (2024) annars är vanligt för transportköpare. Dessutom kan det efter samtal med Returpacks logistikutvecklare fastställas att den interna kunskapen om elektrifiering bedöms vara god. Det finns dock en risk med tydliga avgränsningar mellan vem som ansvarar för olika delar av logistiksystemet, exempelvis fordon, system etcetera. Det beror på att Returpack riskerar att bli beroende av nyckelpersoner eftersom kunskapen blir individbunden, något som Returpack bör arbeta med för att inte förlora sin strategiska kompetens vid personalomsättning. Förväntad effekt är till följd av den befintliga kompetensen låg, men om anskaffning av strategisk kompetens blir aktuellt i framtiden bedöms genomförbarheten vara hög.

Resultatet av analyserna av respektive lösning sätts i perspektiv till varandra och presenteras i Figur 50 nedan där de lösningar med hög genomförbarhet och hög förväntad effekt bör implementeras först.



Figur 50: Lösningar för ett elektrifierat logistiksystem presenterat utifrån förväntad effekt och genomförbarhet för Returpack.

8.3 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Renall?

Utifrån fordonstillverkarens erbjudanden har två lämpliga elektrifierade fordonstyper valts ut för den vidare utredningen. Dessa benämns som batteri 1 och batteri 2 och presenteras i Tabell 30 nedan.

Tabell 30: Utvalda fordonstyper och dess karakteristik.

Benämning	Batterikapacitet	Laddkapacitet
Batteri 1	416 kWh	CCS2 upp till 375 kW
Batteri 2	624 kWh	CCS2 upp till 375 kW

Genom att applicera beslutsmetodiken från 6.2 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas? har beräkningar av energiförbrukning för respektive utvalt fordon agerat beslutsunderlag till val av batterikapacitet. Vid applicering av beslutsmetodiken resulterade det första steget i att enbart två av de tretton studerade fordonen klarade det första kriteriet, vilket krävde att samtliga rutter skulle kunna genomföras med batteri 1 utan mellanlandning. Dessa fordon var brädgårdsbil och lokalt baktömmande fordon för förpackningsinsamling. Deras karakteristik kan kort sägas bestå

av korta körsträckor vilket motsvarar *Lokal* i den geografiska utbredningen. Dessutom har de en jämn fördelning mellan dagarna vilket för exempelvis förpackningsinsamlingen kan kopplas till att fordonet har förplanerade rutter och låg andel akuta uppdrag. Det är något som möjliggör jämnare rutter.

Efter det första steget genomfördes teoretiska försök till utjämning genom att studera hur energiförbrukningen fördelade sig mellan dagarna för ett fordon. I exemplet i 7.3 Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Renall? påvisas att energiförbrukningen inte fördelar sig jämnt mellan dagarna för fordonet utan det krävs en större mängd energi för att klara rutterna vissa dagar. Därmed är det teoretiskt möjligt att jämma ut energiförbrukningen mellan dagarna. Då främst genom att tillämpa någon av följande principer:

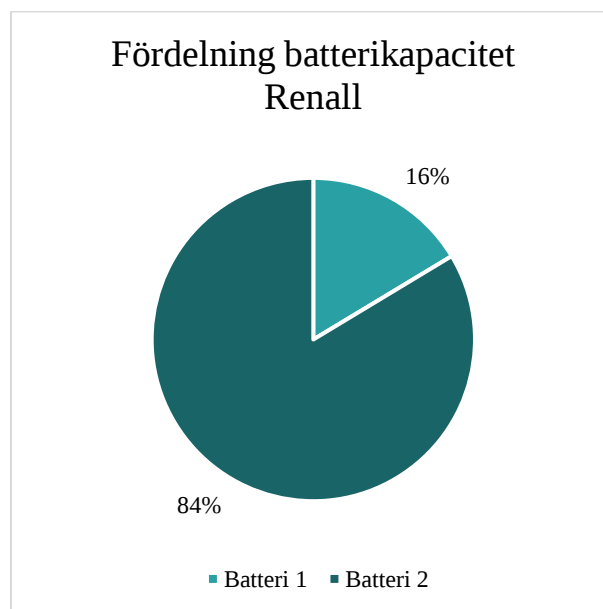
- *Uppdrag flyttas till befintliga dagar där energiförbrukningen är lägre.*
- *Uppdrag flyttas till befintliga dagar hos andra fordon där energiförbrukningen är lägre.*

För att möjliggöra utjämning undersöks om det är möjligt att flytta uppdrag mellan dagarna eller fordonen. Vid analys av energiförbrukningen presenterad i Figur 43 finns i teorin möjlighet till detta, då en lastväxlare har låg andel akuta uppdrag. Skulle andelen akuta uppdrag å andra sidan vara hög kommer det dock förkorta *planeringshorisonten för uppdragen* och därmed begränsa hur utjämning kan genomföras. Den största påverkan för utjämning av rutter är dock *kundernas krav på dag och tidpunkt när ett uppdrag bör genomföras och kundernas tillgänglighet gällande dag och tidpunkt när ett uppdrag kan genomföras*. Detta då Renall i dagsläget har lägre maktposition än dess kunder till följd av dess roll som transportör (Kähkönen, & Lintukangas, 2010) och därmed har svårt att själva styra när uppdragen bör genomföras. Dessutom är många av uppdragen säsongsbetonade vilket försvårar möjligheten till utjämning av rutterna. För exempelvis frontlastaren och torrsugen, där Renall enbart innehar ett fordon av dessa fordonstyper är det inte möjligt att flytta uppdrag mellan fordon på grund av *uppdraget inte passar med fordonenets påbyggnad*.

Nästa steg i beslutsmetodiken innebar att studera om fordonen kunde genomföra rutter med en mellanladdning, vilket var fallet för de flesta av fordonen. De fordon som krävde mer än en mellanladdning någon gång under studerad period var exempelvis frontlastare och kranbil vilket kan härledas till dess långa körsträckor. För resterande av fordonen genomfördes därefter en ekonomisk jämförelse där skillnaden i kostnad för det identifierade laddbehovet som uppstod med batteri 1 jämfördes med kostnaderna för mellanladdning med batteri 2. Resultatet jämfördes därefter med skillnaden i inköpspris mellan fordon med batteri 1 och 2. Jämförelsen resulterade i majoriteten av fallen i val av batteri 1, då kostnaden för att uppgradera till ett större batteri är höga. I de fall beror det även ofta på att laddbehovet uppstår sällan, vilket kan härledas till ojämn energiförbrukning utifrån ojämna rutter. Då batterikapaciteten enligt Basma et al. (2022) inte bör överdimensioneras bör snarare laddstrategierna istället för batterikapaciteten anpassas efter dessa toppar i energibehovet så länge det är ekonomiskt fördelaktigt med ett mindre batteri.

För de fordon där batteri 2 var ekonomiskt fördelaktigt var en betydande anledning dess höga energiförbrukning. Dessa fordon skulle vid batteri 1 behöva en hög andel mellanladdning på publika stationer vilket blir kostsamt under en avtalsperiod på 10 år.

Trots att överdimensionering enligt Basma et al. (2022) bör undvikas bör detta övervägas om genomförbarheten av elektrifiering begränsas. I metodiken presenteras kriterier som bör uppfyllas för att inte genomförbarheten begränsas. Dessa har analyserats för Renalls fordon och därmed lett till att det för flertalet fordon rekommenderas ett större batteri trots att det innebär högre kostnader än ett mindre batteri. Då Renall har flertalet fordon som trafikerar landsbygd rekommenderas för dessa fordon ett större batteri, då laddinfrastruktur för laddning *on route* helt saknas i flertalet av dessa områden. Dessutom begränsas exempelvis kranbilarna och torrsugen av att de inte kan avvika från ett pågående uppdrag för att åka och ladda, vilket leder till att det större batteriet är att föredra. Möjligheten att kunna avvika från ett uppdrag för laddning minskar om uppdragen är långa, vilket ofta är fallet då få uppdrag per dag genomförs. För Renall begränsas genomförbarheten även av avsaknaden av fasta rutter, vilket stämmer överens med det Whitehead, et al. (2022) presenterade, att fasta rutter underlättar elektrifieringen. Resultatet av utformningen av fordonsflottan då den ekonomiska analysen vägs mot genomförbarheten presenteras i *Figur 51* nedan. I figuren kan det konstateras att fler fordon behöver batteri 2 (större batteri) än batteri 1 (mindre batteri), vilket kan härledas till den begränsande genomförbarheten med batteri 1.



Figur 51: Fördelning av batterikapacitet hos Renall.

8.4 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas hos Returpack?

Utifrån fordonstillverkarens erbjudanden har i samråd med logistikutvecklare på Returpack två lämpliga elektrifierade fordonstyper valts ut för den vidare utredningen. Dessa benämns som *batteri 1* och *batteri 2* som presenteras i Tabell 31 nedan.

Tabell 31: Utvalda fordonstyper och dess karakteristik.

Benämning	Batterikapacitet	Laddkapacitet
Batteri 1	416 kWh	CCS2 upp till 375 kW
Batteri 2	624 kWh	CCS2 upp till 375 kW

Genom att applicera beslutsmetodiken från avsnitt 6.2 Hur kan en elektrifierad fordonsflotta utformas? har beräkningar av energiförbrukning för respektive utvalt fordon agerat beslutsunderlag till val av batterikapacitet.

Vid applicering av beslutsmetodiken resulterade det första steget i att enbart tre fordon klarade det första kriteriet, vilket krävde att samtliga rutter skulle kunna genomföras med batteri 1 utan mellanlandning både vinter och sommar. Dessa tre fordon tillhör området Stockholm och deras karakteristik summeras genom korta körsträckor under cirka 11 mil per rutt och motsvarar *Lokal* i den geografiska utbredningen.

Efter det första steget genomfördes teoretiska försök till utjämning genom att studera hur energiförbrukningen fördelade sig mellan dagarna i ett område. I exemplet i 7.4 Hur ser dagens fordonsflotta ut hos Returpack? påvisas att energiförbrukningen inte fördelar sig jämnt mellan dagarna utan det krävs en större mängd energi för att klara rutterna vissa dagar, då vanligtvis måndagar och fredagar. Det går att koppla till ett fordon's nyttjandegrad då vissa fordon inte har planerade rutter varje dag i veckan. Då personalkostnaden är högre på helger är det av ekonomiska skäl fördelaktigt med insamling på vardagar. I exemplet är energiförbrukningen lägre onsdagar (dag 2 och 10) och söndagar (dag 7 och 14), vilket kan härledas till att ett av fordonen i området står still denna dag. Därmed är det teoretiskt möjligt att jämma ut energiförbrukningen mellan dagarna. Då främst genom att tillämpa någon av följande principer:

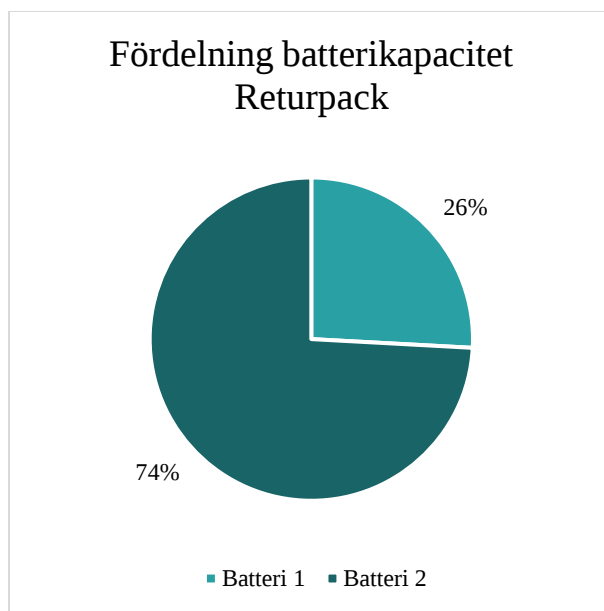
- Uppdrag flyttas till befintliga rutter hos andra fordon där energiförbrukningen är lägre.
- Uppdrag flyttas till nya rutter där fordonet tidigare varit stillastående.
- Uppdrag flyttas till nya rutter på annat fordon som tidigare varit stillastående.

För att möjliggöra utjämning undersöktes möjligheten att flytta stopp mellan dagar eller fordon. För det studerade området fanns viss möjlighet att genomföra detta på de stopp vars geografiska lokalisering var i samma stad som depån, då fordonen ofta passerar dessa stopp. En hög energiförbrukning kan bero på hög geografisk utbredning vilket är förekommande i området i exemplet. Då den geografiska utbredningen är hög försvåras möjligheten för utjämning vilket i metodiken beskrivs som *uppdragets geografiska lokalisering i förhållande till depå* samt tydlig

skillnad i geografisk lokalisering mellan dagar. Därmed identifieras en koppling mellan den geografiska utbredningen och begränsade möjligheter för utjämning av rutter. Då majoriteten av Returpacks rutter har karakteristiken *Regional* vid geografisk utbredning är utjämning svårt att genomföra utan tillgång till optimeringssystem. Även om *kundernas krav på dag och tidpunkt när ett uppdrag bör genomföras* idag präglar Returpacks ruttoptimering bör Returpacks maktposition mot kunderna minska denna barriär för utjämning. Vid tillgång till optimeringssystem finns möjlighet till vissa förbättringar, vilket bör studeras för de fordon som ligger nära den ekonomiska brytpunkten för batteri 1 och 2 som beskrivs ytterligare i följande stycke.

Nästa steg i beslutsmetodiken innebar att studera om fordonen kunde genomföra rutter med en mellanladdning, vilket var fallet för majoriteten av fordonen. De fordon som krävde dubbla mellanladdningar med batteri 1 hade en lång geografisk utbredning och färdades över cirka 37 mil per rutt. Detta återfanns i områden såsom Dalarna och Medelpad. För majoriteten av fordonen genomfördes därefter en ekonomisk jämförelse där inköpspris och kostnad för publik laddning jämfördes mellan batterierna, då batteri 2 har ett högre inköpspris men kräver istället mindre mellanladdning. Jämförelsen resulterade i cirka hälften av fallen i val av batteri 2, då stor andel publik laddning blir kostsamt under en avtalsperiod på 10 år. För de fordon där batteri 1 trots mellanladdning var mest ekonomiskt fördelaktigt var den främsta anledningen att enbart vissa rutter krävde mellanladdning och då till en låg batterinivå.

Trots att överdimensionering enligt Basma et al. (2022) bör undvikas bör detta övervägas om genomförbarheten av elektrifiering begränsas. I metodiken presenteras kriterier som bör uppfyllas för att inte genomförbarheten ska begränsas. Dessa har analyserats för Returpacks fordon och därmed lett till att det för flertalet fordon rekommenderas ett större batteri trots att det innebär högre kostnader än med ett mindre batteri. Då flertalet av Returpacks områden har flertalet fordon som trafikerar landsbygd rekommenderas för dessa fordon ett större batteri, då laddinfrastruktur för laddning *on route* saknas helt i flertalet av dessa områden. Möjligheten att avvika från rutter för att ladda är goda för de flesta områdena, dock begränsas vissa av att chaufförernas körtid överskrider om tid för laddning tillkommer under rutten. Detta leder till att det större batteriet bör övervägas för att bevara ruttlängderna. Dessutom innebär det att köbildning kan bli ett större problem, då det riskerar att dra ut på ruttens tidsmässiga längd. En lång rutt kan antingen härledas till en längre körsträcka eller till många stopp per dag, vilket överensstämmer med resultatet av Magnussons et al, (2020) vilket påvisade att körsträckan påverkar genomförbarheten av elektrifiering. Fordon med långa rutter rekommenderas därmed ofta ett större batteri. Resultatet av utformningen av fordonsflottan då den ekonomiska analysen vägs mot genomförbarheten presenteras i *Figur 52* nedan. I figuren kan det konstateras att fler fordon behöver batteri 2 (större batteri) än batteri 1 (mindre batteri), vilket kan härledas till den begränsande genomförbarheten med batteri 1.



Figur 52: Fördelning av batterikapacitet hos Returpack.

8.5 Hur kan Renall respektive Returpack utforma sin laddstrategi?

För respektive fordons rutter har modellen i avsnitt 6.3 Hur kan en laddstrategi utformas? applicerats och rekommenderade laddstrategier för fallföretagen fastställts. För båda fallföretagen ses likheter i hur deras laddstrategier bör utformas och de diskuteras således tillsammans i följande avsnitt.

8.5.1 Return to base

Samtliga av Renalls och Returpacks fordon är i behov av en *return to base* strategi eftersom företagen eftersträvar laddning av fordonen till en så låg kostnad som möjligt. Strategin som utvecklats är likvärdig för Renall respektive Returpack och dess huvudsakliga drag har således kunnat sammanställas gemensamt i Tabell 32. Strategin diskuteras mer ingående nedan utifrån kategorierna *när*, *hur* och *var*.

Tabell 32: Rekommenderat genomförande vid strategin return to base och de effekter som kan uppnås.

Kategori	Rekommenderat genomförande	Effekt	Beslut	Baserat på källa
När	Laddning under natten eller mellan skift.	Laddning sker när effektefterfrågan är lägre och kostnader blir lägre.	Schedule based	(Basma, et al., 2022; Energimarknadsinspektionen, 2023a; Svenska Kraftnät, 2024)
När	Smarta laddsystem som kan koordinera så att laddningen sker när kostnader är lägre.	Minskade kostnader för laddning och minskat behov av att uppgradera nätet.	-	(Al-Hanahi, et al., 2021; Basma, et al., 2022)
Hur	Service och reparation av fordonet utförs samtidigt som laddning.	Ökad operativ effektivitet genom minskat stillestånd för laddning.	Schedule based / Trigger based	(Teoh, 2022)
Hur	Typ 2, 44kW laddare.	Typ 2 laddning minskar slitage på batteriet och kostnader för laddning men förlänger laddtiden. 44 kW laddare nödvändigt för att hinna ladda under natten.	-	(Burke, et al., 2023; Fioriti, et al., 2023; Uhrdin, et al., 2023; Whitehead, et al., 2022)
Var	Laddning på transportörens egen depå.	Ökad kontroll över priser och säkerställande att laddplats finns tillgänglig.	Schedule based	(Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022)

När

Majoriteten av Renalls och Returpacks fordon körs dagtid och nattladdning blir därför relevant. Detta för att laddning av fordonen ska ske när de inte används och för att de ska vara fulladdade när de startar en ny rutt. I samband med beslut kring när laddning ska ske är det även relevant att undersöka möjligheten till smarta laddsystem (Uhrdin, et al., 2023). Att ladda under natten när efterfrågan och kostnader är lägre kan möjliggöra utjämning och bättre nyttjande av elnätet. Denna del bör vara *schedule based* för att uppnå en automatisering och att inte chaufförer ska behöva koordinera när laddningen ska ske.

Hur

Investering och nyttjande av laddinfrastruktur på egen depå är relevant för att ta del av de ekonomiska fördelarna som depåladdning medför. För båda fallföretagens egna depåer rekommenderas typ 2 laddare på 44kW då detta är den minsta möjliga laddeffekten som krävs för att fordonen ska hinna ladda fullt under natten under förutsättning att de använder sig av batterikapaciteterna presenterade i *Tabell 30*. Samtidigt är långsamladdare av typ 2 eftersträvansvärt då det medför mindre slitage på batteriet och ökar dess livslängd (Burke, et al., 2023; Fioriti, et al., 2023). Likaså bör laddning ske när batteriet är uppvärmt då det tar emot laddning bättre (Fioriti, et al., 2023) och ökar batteriets livslängd (Burke, et al., 2023). Det är något som kommer bli nödvändigt att ta hänsyn till hos Returpack då de i dagsläget håller diskussioner om att implementera längre kontraktslängder med sina leverantörer. En allt för stor försämring i batterikapacitet kommer över tid leda till att rutter behöver läggas om och nya fordon behöver köpas in innan kontraktslängden är slut, något som bör undvikas då det kommer medföra en stor extrakostnad.

I samband med utbyggnation av laddinfrastruktur på depå är det även relevant att genomföra en energikartläggning av depån för att kunna balansera energibehovet, minska toppar i förbrukning och möjliggöra nyttjande av oförbrukad kapacitet (Energimyndigheten, 2022b; Energimarknadsinspektionen, 2023a; Energimarknadsinspektionen, 2023b). Det är en metod för att effektivisera verksamheten och kan leda till ett minskat behov av att uppgradera nätet. Villkorade avtal kan bli relevant för några av Returpacks mindre leverantörer, medan Renall som ska elektrifiera hela sin Norrköpingsfordonsflotta på drygt 100 lastbilar med stor sannolikhet kommer behöva uppgradera sitt elnät.

Intervjuer med chaufförer på Renall visar att det finns behov av regelbundet underhåll av fordonen samt att fordonen ibland får lämnas in på verkstad med kort varsel. Teoh (2022) rekommenderar att utföra parallella aktiviteter samtidigt som laddning sker för att öka den operativa effektiviteten. Det bör därför eftersträvas att laddning och service eller reparationer bör inträffa samtidigt. Med hänsyn till att det ofta är oförutsägbart när ett fordon går sönder är detta något som bör vara *trigger based*. Service av fordonen kan dock vara *schedule based*.

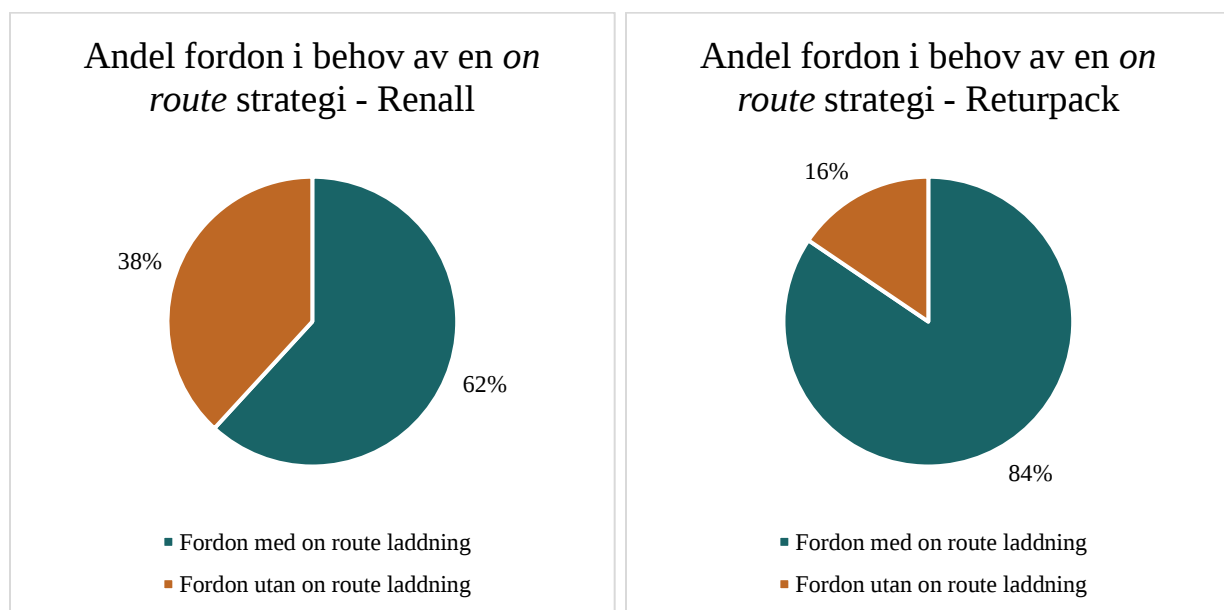
Var

Till följd av de lägre laddkostnader som kan erhållas vid depåladdning är denna typ att föredra för strategin *return to base*. Som transportköpare kommer Returpack behöva ställa krav på sina leverantörer att de ska ha möjlighet att erbjuda depåladdning. För transportören Renall kommer utmaningen vara att säkerställa att det finns tillräckligt med laddplatser på depå för att alla fordon ska kunna ladda samtidigt. Renall har dessutom några regionala fordon som är stationerade på närliggande orter. Dessa kommer inte ha möjlighet att åka in till Norrköping varje natt för att ladda och att säkerställa tillgång på laddpunkt blir mer utmanande för dessa fordon. I detta fall bör Renall utreda möjligheten att skapa en depå på dessa orter. Ett annat

alternativ är att överväga att utveckla samarbete med andra aktörer så att en semi-publik station kan skapas där fordonen kan ladda.

8.5.2 On route

Genom analys av ett specifikt fordonens energibehov kan det avgöras om fordonet är i behov av en *on route* strategi eller ej. I de fall då energiförbrukningen för en eller flertalet rutter överskrider ett batteris tillgängliga kapacitet bör en *on route* strategi utvecklas. Med hänsyn till att många av de studerade fordonen hos fallföretagen idag har en mycket varierande energiförbrukning mellan rutterna konstateras att en hög andel av fordonen kommer behöva mellanladda under rutt och således utveckla en *on route* strategi (*Figur 53*). Detta kan dock minskas genom ombearbetning av fordonens rutter som diskuterades i avsnitt *6.2.1 Jämna ut rutter*.



Figur 53: Sammanställning över hur många fordon hos Renall respektive Returpack som i dagsläget är i behov av en on route strategi.

Likt tidigare kan konstateras att utformningen av en *on route* strategi är likvärdig för Renall och Returpack. Den sammanställs därför gemensamt i *Tabell 33* nedan och diskuteras sedan mer ingående för respektive kategori.

Tabell 33: Rekommenderat genomförande vid strategin on route och de effekter som kan uppnås.

Kategori	Rekommenderat genomförande	Effekt	Beslut	Baserat på källa
När	Laddning i samband med chaufförens rast.	Minskar chaufförens behov av att vänta vid laddning. Försvårar planeringen. Ökad efterfrågan på el under vissa perioder då fler ska ladda och andra aktörer har hög förbrukning.	Schedule based / trigger based	(Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022; Whitehead, et al., 2022)
När	Stödladdning / ladda när infrastruktur finns tillgänglig	Åtgärd för begränsad laddinfrastruktur. Ger mer utspridd beläggning på laddplatser och undviker toppar i elförbrukning.	Schedule based / trigger based	(Al-Hanahi, et al., 2021; Lindgren, et al., 2021)
När	Laddning i samband med att andra aktiviteter utförs.	Minskar stillestånd för laddning.	Trigger based	(Lindgren, et al., 2021)
Hur	Typ 3, minst 150 kW laddare. Max 375 kW laddare.	Förkortar laddtiden och stillestånd.	Schedule based	(Lindbom, et al., 2024; Teoh, 2022; Whitehead, et al., 2022)
Hur	Kartläggning av befintlig och planerad laddinfrastruktur längs med rutter.	Ökar möjligheten att optimera rutter utifrån tillgänglig laddinfrastruktur.	Schedule based	(Teoh, 2022)
Hur	Samarbete med andra aktörer för att dela laddinfrastruktur	Kan minska kostnader. Ställer högre krav på bra samarbeten.	Schedule based	(Whitehead, et al., 2022)
Hur	Uppmuntran till flexibilitet vid förändringar i rutt och för nödsituationer.	Kan undvika onödiga köer eller behov av vägassistans.	Trigger based	(Teoh, 2022)
Var	I första hand laddning på depå.	Minskade kostnader. Ökad kontroll över tillgänglighet på laddpunkter.	Schedule based / trigger based	(Al-Hanahi, et al., 2021; Teoh, 2022)
Var	Laddning på publika eller semi-publika stationer kommer vara nödvändigt.	Ökade kostnader för laddning, risk för köande.	Schedule based / trigger based	(Al-Hanahi, et al., 2021; Basma, et al., 2022; Teoh, 2022)

När

För *on route* laddning är tidpunkten då laddningen genomförs kritisk för att uppnå en hög effektivitet. Genom att ladda i samband med naturliga stopp såsom chaufförers rast minskar behovet av att chauffören får vänta vid laddning som i sin tur skulle öka personalkostnaderna. Det är dock en lösning som försvårar planeringen då det inte alltid finns tillgänglig laddinfrastruktur vid de platser där rast behöver tas. Dessutom uppstår en ökad efterfrågan på el under vissa perioder på dagen då många aktörer ska ladda samtidigt och har hög förbrukning. För fallföretaget Returpack finns naturliga stopp på depå inplanerade i rutterna när mellantömning sker, något som bör tas tillvara och tilläggs-laddning bör ske i samband med detta.

Det är också eftersträvansvärt att ladda när andra aktiviteter utförs (Lindgren, et al., 2021). Till exempel kan semi-publik laddning nyttjas när uppdrag utförs ute hos kund. För Renall kan möjligheten finnas för vissa fordon såsom bland annat kranbilar, torrsug och kombibilar då en del av dessa fordon står stilla under längre perioder och utför arbete. Däremot ses det att de av Renalls fordon som gör korta stopp och även kör regionala sträckor har en begränsad möjlighet till detta då det skulle krävas många laddpunkter och ytterst lite laddning skulle kunna ske vid varje laddpunkt. Returpack skulle kunna påverka butiker att införskaffa laddstationer för att kunna ladda vid stopp. Dock har fordonen många stopp på en rutt och varje stopp är mycket kort och motsvarar enbart några minuter. Dessutom är butikernas samarbetsvilja mot detta ofta låg. Det gör att denna lösning förmodligen kommer bli mer tidskrävande och ekonomiskt ohållbar än vad den ger nytta. Det kan dock bli relevant för Renall och Returpack att upplysa sina kunder om Energimyndighetens (2024) nya stödpaket för semi-publik laddning och försöka påverka dem mot att investera i laddinfrastruktur. Att det finns extra stöd för landsbygdskommuner anses extra fördelaktigt för Renall och Returpack då dessa områden och tillhörande laddinfrastruktur idag upplevs som begränsade för implementering av elektrifiering.

Ofta underlättar det för chaufförerna om det finns inplanerade laddstopp under rutten. Samtidigt är det också viktigt med en flexibilitet om något oförutsett händer och om nödsituationer uppstår. Det kan därför vara lämpligt att nyttja både *schedule based* och *trigger based* beslut i dessa fall. *Trigger based* beslut vid nödsituationer skulle kunna vara att laddning behöver ske när en minimal batterinivå uppnås (Teoh, 2022).

Hur

Vid val av laddeffekt vid *on route* laddning är en hög effekt via typ 3 laddare att eftersträva då en begränsad effekt sänker laddhastigheten och kan tvinga transportörer att ladda flera gånger ute på rutterna (Al-Hanahi, et al., 2021). För att minimera stillestånd krävs en hög effekt och minst 150 kW anses lämpligt för att hinna ladda upp de utvalda fordonen presenterade i Tabell 30. Fordonen har en begränsning av att de kan ta emot en effekt på maximalt 375 kW. En effekt upp mot 375 kW är därför eftersträvansvärt, men bristande laddinfrastruktur är en begränsande faktor för vissa av fallföretagens rutter. Renalls regionala fordon och vissa av Returpacks leverantörer kör i landsbygdsområden med dåligt utbyggd laddinfrastruktur. Många av dessa

landsbygdskommuner innefattas inte heller av de lagkrav som finns kring utbyggnad av laddinfrastruktur (European Council, 2023). Det gör att det inte finns lika höga incitament mot att bygga laddinfrastruktur i dessa områden och utveckling av en fungerande *on route* strategi blir mer utmanande. Samtidigt kan det finnas laddare med hög effekt som enbart är anpassade för personbilsladdning och inte lämpliga för lastbilar. Det försvårar utformning av strategin ytterligare. Det medför att det kommer krävas kontinuerligt arbete med att lokalisera lämpliga laddstationer för att underlätta implementering av elektrifierade lastbilar på vissa rutter.

Var

Med hänsyn till att laddning på depå medför lägre kostnader och högre kontroll över tillgänglighet på laddplatser är det eftersträvaransvärt att *on route* laddning i första hand sker på depå. Då det i vissa fall även finns en begränsad laddinfrastruktur längsmed fallföretagens rutter medför det ett ökat beroende av att kunna återvända hem till depå under ruten. För Renall och Returpack finns en viss fördelning av lokala rutter där avståndet hem till depå är kort och depåladdning blir således att föredra. För vissa av fallföretagens rutter finns naturliga stopp på depå. För Renall är det i samband med chaufförens lunchrast och för Returpack i samband med mellantömning. Depåladdning *on route* skapar dock ett behov av att investera i snabbbladdare på egen depå, då långsamma laddare i vissa fall inte kommer hinna ladda batteriet tillräckligt under de korta stoppen som görs.

Det är dock inte alltid möjligt att återvända till depå då fallföretagen har vissa fordon som kör regionala rutter och till följd av begränsad batterikapacitet och energikrävande rutter behöver förlita sig på publik eller semi-publik laddning. Laddinfrastrukturen är idag dåligt utbyggd och det är dessutom brist på snabbbladdare (Borlaug, et al., 2022; Lindgren, et al., 2021; Teoh, 2022). Med hänsyn till lastbilarnas storlek och otymplighet måste även vissa laddstationer exkluderas på grund av att det inte finns tillräckligt med plats runt laddstationen. Likaså finns en risk för att laddplatserna är upptagna vid ankomst och tid måste läggas på köande. Dessa faktorer ökar risken och kostnaden med att ladda på publika och semi-publika stationer. Likaså kan det behöva planeras in förutbestämda stopp i ruten där laddning ska ske vilket enligt Tabell 28 kan inskränka både på chaufförens flexibilitet och försvåra arbetet med att kunna utföra akuta uppdrag. Det kan därför bli relevant för fallföretagen att utveckla samarbeten med andra aktörer för att dela laddinfrastruktur och öka nyttjandet av semi-publik laddning. Renall har anläggningar i olika städer och om Norrköpingskontorets fordon är på uppdrag i en av dessa städer finns möjlighet att nyttja filialens laddinfrastruktur i stället för att ladda på en publik station i samma stad. Det kan medföra liknande fördelar som depåladdning i form av minskade kostnader och en högre kontroll.

Pristariffer påverkar kostnaden för laddning och varierar beroende på var i landet en verksamhet befinner sig (Basma, et al., 2022; Energimarknadsinspektionen, 2023a). Därför ser kalkylen och lönsamheten av depåladdning och publik laddning olika ut för olika verksamheter. Detta är också något som bör tas i åtanke, då att ladda publikt i vissa områden kan vara mycket mer kostsamt

och depåladdning bör eftersträvas i högre utsträckning i dessa områden. Dock rör det sig ofta om ganska små summor vilket således ger en ganska låg inverkan på resultatet. Då Renall huvudsakligen utför uppdrag i Östergötland kan detta vara en faktor de kan exkludera. Returpack har däremot uppdrag runtom i hela Sverige och strategin bör därför differentieras mellan de sydligaste och nordligaste områdena.

8.6 Vilka likheter och skillnader i genomförandet kan identifieras hos Renall och Returpack?

Följande avsnitt belyser skillnader och likheter i genomförandet hos Returpack och Renall. Avsnittet ämnar besvara underfråga 3.4 men även agera som sammanfattning av kapitel 8.

8.6.1 Utformning av ett elektrifierat logistiksystem

För att genomföra uppskalning av elektrifiering bör logistiksystemet anpassas efter de förändrade förutsättningarna som följer elektrifieringen. Hur de förändrade förutsättningarna påverkar ett företag ser olika ut beroende på företagets uppdrag och dess körkaraktistik, vilket innebär att anpassningarna av logistiksystemet bör genomföras utifrån ett företags specifika behov. En sammanställning för Renall och Returpack presenteras i *Tabell 34* nedan.

Tabell 34: Prioriterade rekommenderade lösningar för Renall och Returpack där arbetet bör påbörjas.

Renall	Returpack
Strategisk kompetens	Längre kontraktslängder
Eco-driving	Arbeta med kundrelationer
Utökad effektkontroll	Realtidsdata
IT-system	
Aktivitet under laddning	

En första skillnad som identifierats i det rekommenderade genomförandet ovan är att hos Renall innebär förändringarna att förbättra kontrollen över sin dagliga verksamhet genom nytt IT-system som kan underlätta kontrollen över den dagliga planeringen. I motsats har Returpack i dagsläget ett fungerande IT-system vilket ger dem god kontroll över deras fordon och uppdrag. De kan därmed ta nästa steg och arbeta med realtidsdata vilket inte bedöms ge samma effekt för Renall då de ännu inte har ett väl fungerande IT-system som grund.

Vad ett företag har makt över har påverkan på genomförbarheten, vilket kan exemplifieras av eco-driving. Renall har genom sin närhet till chaufförerna och fordonen en större möjlighet att påverka hur de framförs. Det återspeglas av rekommendationen för Renall att arbeta mer med eco-driving. Trots att effekten av eco-driving är en likhet för företagen placeras eco-driving totalt sett lägre på listan med rekommendationer för Returpack till följd av att de har lägre möjlighet att nå fram till chaufförerna samt att de saknar verktyg att motivera chaufförerna till förbättring.

Ytterligare en likhet som identifierats är effekten av lägre kundkrav som är likbördig för företagen, men dess genomförbarhet skiljer sig till följd av fallföretagens olika maktpositioner gentemot deras kunder samt konkurrenssituationen på den specifika marknad de befinner sig på. Att bygga ett elektrifierat logistiksystem underlättas därmed av att kunna påverka andra aktörer i sitt logistiksystem vilket instämmer med Cox, et al. (2002) som konstaterar att förmågan att påverka sin omgivning bygger på maktpositionen.

Sammanfattningsvis har det identifierats att utformningen av ett elektrifierat logistiksystem påverkas av företagets nuvarande maktposition, IT-system och kompetens.

8.6.2 Utformning av en elektrifierad fordonsflotta

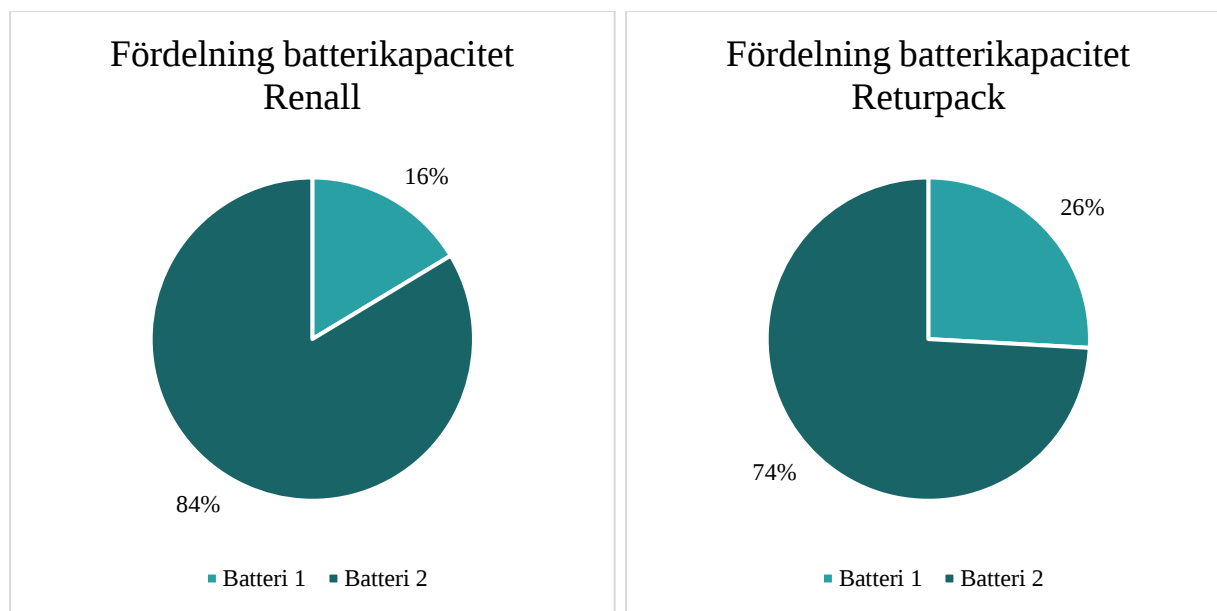
De skillnader som kan identifieras vid utformning av fordonsflottan bygger på fordonens kraftuttag. För Returpack uppkommer nästan all energiförbrukning från körd sträcka medan Renall har några fordon, exempelvis torrsugen, som har en hög energiförbrukning när påbyggnaden nyttjas. Ytterligare en skillnad som framkommer vid utformning av fordonsflottan är påverkan från ojämnheter i energiförbrukning mellan dagarna. För Returpack återkommer samma rutt var fjortonde dag vilket innebär färre toppar i energiförbrukningen att ta hänsyn till. För Renall har varje dag en individuell energiförbrukning vilket innebär en större osäkerhet samt fler toppar i energiförbrukningen att ta hänsyn till. Fler toppar och en ojämn förbrukning kan innebära ett större publikt laddbehov vilket påverkar den ekonomiska bärkraften.

Även hur utjämning kan genomföras skiljer sig mellan fallföretagen, då de begränsas av olika faktorer. En jämförelse av de faktorer som påverkar utjämning samt hur utjämning kan genomföras presenteras i Tabell 35 nedan.

Tabell 35: Begränsande faktorer samt tekniker för utjämning för Renall respektive Returpack.

Renall	Returpack
Begränsande faktorer	
Planeringshorisonten för uppdragen	Uppdragets geografiska lokalisering i förhållande till depå
Kundernas krav på dag och tidpunkt när ett uppdrag bör genomföras	Tydlig skillnad i geografisk lokalisering mellan dagar
Kundernas tillgänglighet gällande dag och tidpunkt när ett uppdrag kan genomföras	
Fordonens påbyggnad	
Möjliga utjämningstekniker	
Uppdrag flyttas till befintliga dagar där energiförbrukningen är lägre.	Uppdrag flyttas till befintliga rutter hos andra fordon där energiförbrukningen är lägre.
Uppdrag flyttas till befintliga rutter/dagar hos andra fordon där energiförbrukningen är lägre.	Uppdrag flyttas till nya rutter på annat fordon som tidigare varit stillastående.
	Uppdrag flyttas till nya rutter där fordonet tidigare varit stillastående.

Vid val av batterikapacitet återfinns identifierade likheter för de fordonstyper med lägre kraftuttag, där det istället är den körda sträckan som påverkar val av batterikapacitet. I de fall då uppdragens geografiska utbredning har lokal karaktär och därmed inte befinner sig längre än fem mil från depån är möjligheten att nyttja batteri 1 större för båda företagen. Båda företagens genomförbarhet begränsas av att laddinfrastrukturen på landsbygden ännu inte är väl utbyggd, vilket leder till att batterierna ofta bör överdimensioneras för att klara av rutterna utan laddning. Även resultatet av utformningen är liknande för företagen trots dess olikheter i karakteristik, där fördelningen mellan batteri 1 och 2 visualiseras i [Figur 54](#) nedan.



Figur 54: Fördelning av batterikapacitet hos Renall respektive Returpack.

8.6.3 Utformning av laddstrategier

Gällande utformning av laddstrategi ses många likheter mellan Renall och Returpack. Bland annat finns liknande krav på laddkapaciteter, strävan efter en hög andel depåladdning och laddning mellan rutter eller när andra aktiviteter sker. Det beror på att många av de utmaningar som uppkommer i en tidig implementeringsfas av elektrifiering är nya för många företag och alla behöver utveckla en strategi för att hantera dessa. Utvecklingen av denna strategi begränsas dock av att alla delar i systemet ännu inte finns på plats såsom exempelvis tillgång till laddinfrastruktur. Dessutom är det eftersträvaransvärt att genomföra omställningen på ett ekonomiskt hållbart sätt då många företag ej är villiga att både försvåra de dagliga rutinerna och sänka lönsamheten.

Studerars skillnader i de utvecklade laddstrategierna ses att specifik företags- och ruttkarakteristik har en avgörande roll. Kör fordonen på landsbygd med dåligt utbyggd laddinfrastruktur påverkas laddstrategin därefter. Renall har ett antal regionala fordon som kör på landsbygd utan att passera större städer och tillgänglig laddinfrastruktur. Det gör det omöjligt att mellanladda där behov uppstår och således behöver rutterna eller uppdragen omarbetas. Returpack har däremot ofta butiker i städer som stopp och således enklare att hitta laddinfrastruktur i närheten. Det förutsätter dock en viss flexibilitet och att chauffören har möjlighet att göra egna beslut under en pågående rutt, något som i dagsläget är lågt hos de leverantörer som kör åt Returpack. Renall har dessutom längre och färre kunduppdrag och skulle i vissa fall kunna arbeta med att utveckla samarbeten med kunder för semi-publik laddning. Detta är något som kommer bli svårare för Returpack, då det blir tidskrävande och kostsamt till följd av att de ofta har många och korta stopp. En sammanställning av de laddstrategier som utvecklats visas i Tabell 36 nedan.

Tabell 36: Sammanställning av laddstrategier som är gemensamma för båda fallföretagen.

Vad	Return to base	On route
När	- Laddning under natten eller mellan skift - Koordinering när laddning sker via smarta laddsystem - Underhåll av fordonet samtidigt som laddning	- Laddning i samband med chaufförens rast - Stödladdning / ladda när infrastruktur finns tillgänglig - Laddning i samband med att andra aktiviteter utförs
Hur	- Typ 2, 44 kW laddare	- Typ 3, minst 150 kW laddare - Kartläggning av befintlig och planerad laddinfrastruktur längs rutter - Samarbete med andra aktörer för att dela laddinfrastruktur
Var	- Laddning på egen depå	- I första hand laddning på depå - Laddning på publika eller semi-publika stationer kommer vara nödvändigt

9 Hur kostnadsfördelningen förändras vid elektrifiering och hur det skiljer sig mellan aktörer

I följande kapitel besvaras huvudfråga 4 och presenterar först empiri kring vilka ingående parametrar som använts i kostnadsanalysen. I det följande analysavsnitten presenteras sedan resultatet av kostnadsanalysen och tillhörande känslighetsanalys. Till sist jämförs fallföretagens olika kostnadsmodeller och dess resultat diskuteras.

9.1 Empiri

För att kunna utföra kostnadsberäkningar uppkommer behovet av att samla in relevanta ingående parametrar. Detta har gjorts och presenteras i följande avsnitt.

9.1.1 Indata på kostnadsposter

Kostnadsanalysen som presenteras tar utgångspunkt i exempelkonfigurationer. För Renall respektive Returpack presenteras utöver totalt resultat även ett exempel för ett specifikt fordon. Då fallföretagen Renall och Returpack har fyra gemensamma fordon har ett av dessa valts ut som exempel. Energiförbrukning för fordonet presenteras i kapitel 7 som ligger till grund för val av batterikapacitet samt laddbehov för fordonet i kapitel 8. Vilka värden som använts på de ingående parametrarna och hur värden på indata för respektive kostnadsposter skiljer sig mellan olika bränsletyper presenteras i Tabell 37 för Renall och Tabell 38 för Returpack. Värden presenteras som relativa till varandra och de värden som anges som 100% har använts som utgångspunkt när motsvarande värden jämförts. Det utvalda exempelfordonet körs idag med biogas som bränsle och därför baseras övriga värden på värden för biogas.

Bland annat skiljer sig inköpspriset för elektrifierade fordon kraftigt mot biogas medan inköpspriset för ett HVO-drivet fordon är något lägre i jämförelse med biogas. Driftkostnader och personalkostnad per timme antas inte förändras för olika bränslesorter och anges således som 100% i tabellerna. Skatt antas ändras marginellt och antal arbetade timmar ökar i de fall tilläggladdning under rutt behöver genomföras. Likaså varierar bränsleförbrukning och bränslepris kraftigt mellan de olika bränsletyperna. Då posten miljöpremie är av osäker karaktär har denna satts till 0:- i kalkylen för att inte göra det erhållna resultatet felaktigt positivt. Postens inverkan på det slutgiltiga resultatet behandlas i stället i den avslutande känslighetsanalysen.

Tabell 37: Värden som använts som ingående parametrar för exempelfordonet i TCO-analysen hos Renall.

	El (Batteri 1)	El (Batteri 2)	Biogas	HVO
Inköpspris	160%	175%	100%	93%
Amorteringstid	7 år	7 år	7 år	7 år
Kontantinsats	10% av inköpsvärdet	10% av inköpsvärdet	10% av inköpsvärdet	10% av inköpsvärdet
Restvärde	10% av inköpspriset	10% av inköpspriset	10% av inköpspriset	10% av inköpspriset
Miljöpremie	0:-	0:-	0:-	0:-
Driftkostnader	100%	100%	100%	100%
Skatt	100%	100%	100%	358%
Personalkostnad per timme	100%	100%	100%	100%
Antal arbetade timmar per år	2927 h + extratimmar vid mellanladdning	2927 h + extratimmar vid mellanladdning	2927 h	2927 h
Bränsleförbrukning	1,2 kWh / km	1,2 kWh / km	0,31 kg / km	0,35 l / km
Bränslepris depå	5%	5%	100%	77%
Bränslepris publik laddstation	27%	27%	100%	77%
Andel kWh laddade på publik station	35%	14%	-	-
Avskrivningstid	10 år	10 år	10 år	10 år
Årlig körd sträcka	101 726 km	101 726 km	101 726 km	101 726 km

Tabell 38: Värden som använts som ingående parametrar för exempelfordonet i TCO-analysen hos Returpack.

	El (Batteri 1)	El (Batteri 2)	Biogas	HVO
Inköpspris	147%	163%	100%	93%
Restvärde	10% av inköpspriset	10% av inköpspriset	10% av inköpspriset	10% av inköpspriset
Miljöpremie	0:-	0:-	0:-	0:-
Driftkostnader	100%	100%	100%	100%
Skatt	100%	100%	100%	100%
Personalkostnad per timme	100%	100%	100%	100%
Antal arbetade timmar per år	2927 h + extratimmar vid mellanladdning	2927 h + extratimmar vid mellanladdning	2927 h	2927 h
Bränsleförbrukning	1,2 kWh / km	1,2 kWh / km	0,31 kg / km	0,35 l / km
Bränslepris depå	9-10%	9-10%	100%	77%
Bränslepris publik laddstation	22%	22%	100%	77%
Andel kWh laddade på publik station	35%	14%	-	-
Avtalsperiod	10 år	10 år	10 år	10 år
Årlig körd sträcka	101 726 km	101 726 km	101 726 km	101 726 km

9.2 Analys

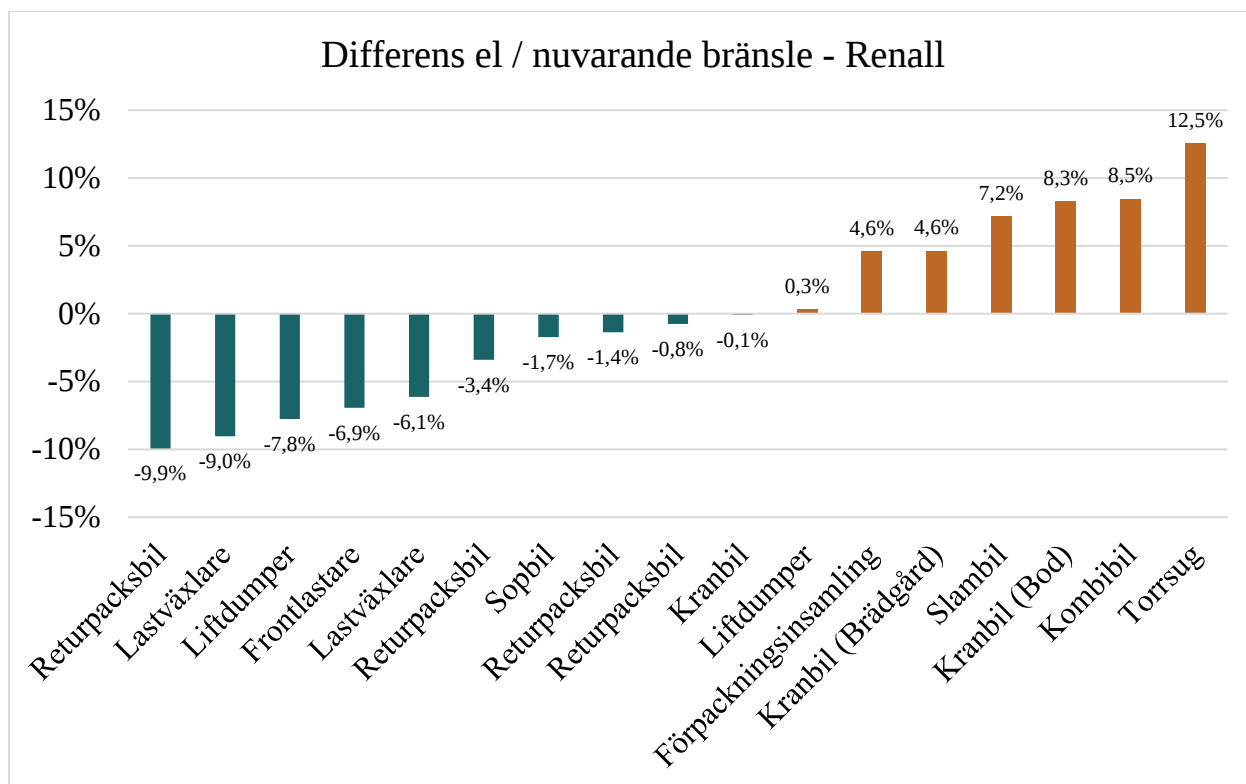
Utifrån de kostnadsposter som valts ut och presenterats har en TCO genomförts som jämför fordon med olika drivlinor. I analysen studeras hur kostnader förändras vid övergång till fordon med elektrifierad drivlina och belyser sedan de kostnadsposter som har stor inverkan på det slutgiltiga resultatet. I *underfråga 4.1a* respektive *underfråga 4.1b* presenteras resultatet från applicering av TCO-analysen på fallföretagens fordon. Fallföretagens olika roller som transportör och transportköpare medför olika kostnadsmodeller med varierande kostnadsstruktur. Resultatet i exemplen skiljer sig således mellan fallföretagen trots att analysen tillämpats på samma fordon. Detta diskuteras vidare i *underfråga 4.2*.

Med hänsyn till elektrifieringens ständiga utveckling och de många osäkra parametrar som finns anses det nödvändigt att nyttja en dynamisk kostnadsmodell som beslutsstöd. Osäkerheter i inköspriser (Burke, et al., 2023) såväl som tillgänglighet av laddinfrastruktur (Li, et al., 2023) är några exempel som påverkar resultatet och bör jämföras och revideras allt eftersom de förändras.

Det kan således konstateras att det resultat som nedan presenteras påverkats av många olika parametrar och kommer förändras utifrån ändringar av dessa parametrar. Resultatet ska således inte ses som ett facit på hur kostnader förändras utan är snarare en indikering kring hur kostnader kan förändras utifrån de förändrade förutsättningar som elektrifiering medför. Nedan diskuteras först resultatet för Renall och senare Returpack. Då olika parametrar har liknande påverkan på resultatet genomförs sedan en gemensam känslighetsanalys och utvalda resultat presenteras nedan.

9.2.1 Hur förändras kostnaderna för Renall vid elektrifiering av fordonsflottan?

För de fordon som studerats hos Renall har TCO-analysen applicerats på respektive fordon och resultatet sedan sammanställts för vidare jämförelse. *Figur 55* nedan visar en sammanställning av differensen mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina för respektive studerat fordon. Gröna staplar med tillhörande negativa procentsatser illustrerar att kostnaderna minskat vid övergång från nuvarande bränsletyp till el. Orangea staplar med positiva procentsatser motsvarar motsatsen. Ur figurerna kan det utläsas att det finns en stor variation mellan fordon om kostnader minskar eller ökar. Likaså varierar differenserna stort från några enstaka procent till upp mot 12,5%. För frontlastare, liftdumper, lastväxlare och returpacksbilar ses att lönsamhet kan uppnås vid byte till elektrifierad drivlina. Det kan förklaras av deras höga nyttjandegrad med många körda mil per år. Sopbilarna och förpackningsinsamling har olika resultat och varje enskilt fordonns körkaraktistik blir avgörande om det är lönsamt eller ej att byta bränsle. Kranbilar och torrsug är utifrån nuvarande karaktistik inte lönsamma att elektrifiera på grund av deras höga energiförbrukning och höga inköpspriser.

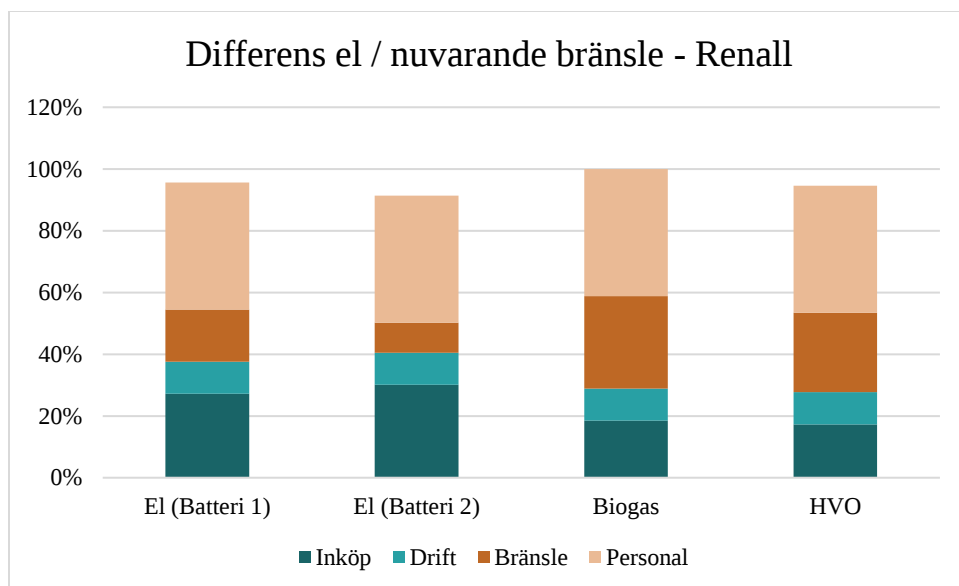


Figur 55: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall.

Genom att studera ett enskilt fordon kan det visualiseras hur olika kostnadsposter skiljer sig mellan olika drivlinor. *Figur 56* nedan visar ett exempel på resultat som erhållits.

Konfigurationen är gjord utifrån fallföretagens verkliga data som presenterats i *Tabell 37* ovan och visar den totala kostnaden för fordonet under en tioårig avtalsperiod. I enlighet med studien gjord av Moll (2020) (*Figur 18*) kan ses att kostnadsfördelningen likvärdig mellan inköpskostnader samt drift- och bränslekostnader, där inköpskostnaderna är betydligt högre för elektrifierade fordon men bränslekostnader något lägre. I exempelfallet antas driftkostnader vara desamma oavsett bränslesort, däremot resonerar Li et al. (2023), Moll et al. (2020) och Tanco et al. (2019) att kostnader för underhåll och service är lägre för elektrifierade fordon vilket kan påverka resultatet. Personalkostnaderna skiljer sig marginellt, där personalkostnader för stillestånd vid mellanladdning på rutt adderats.

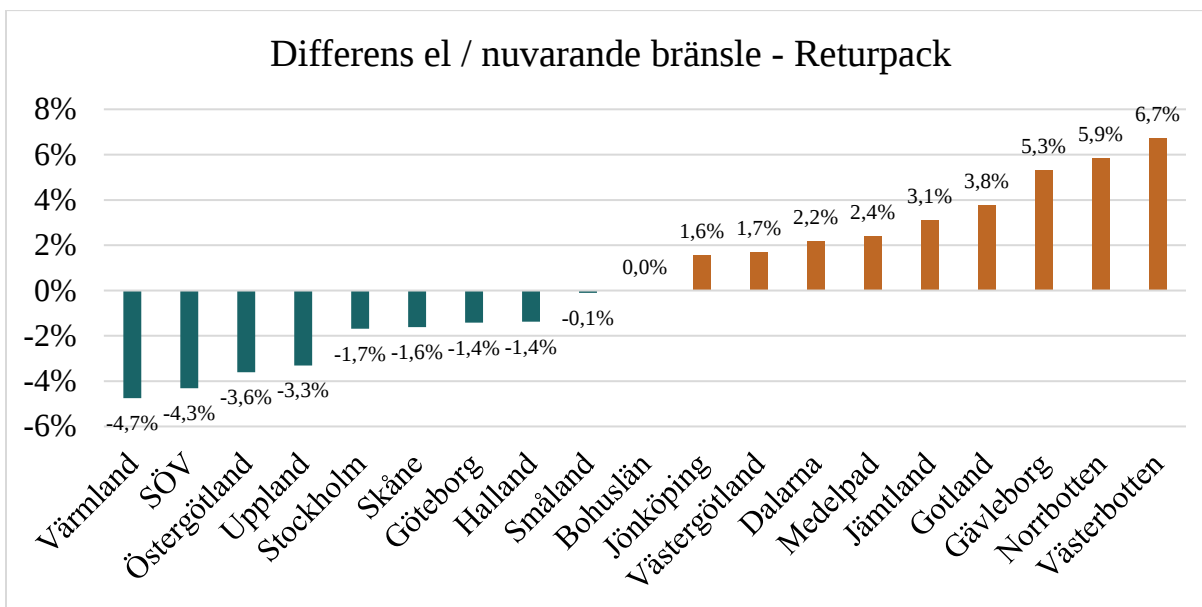
Fördelningen mellan kostnadsposterna påverkar lönsamheten för elektrifierade fordon då fordon med hög nyttjandegrad kan uppnå och passera den punkt då kostnaderna för elektrifierad drivlina och HVO eller biogas är densamma. I exempelfallet är fordonets karakteristik fördelaktigt för en elektrifierad drivlina då lägre kostnader kan erhållas. Utifrån exempelfordonets energibehov är lönsamheten högre vid val av ett större batteri. Detta på grund av att det mindre batteriet skulle kräva en högre andel publik laddning och stillestånd för personal som ökar kostnaderna.



Figur 56: Kostnadsjämförelser mellan två eldrivna, en biogasdriven och en dieseldriven lastbil hos Renall.

9.2.2 Hur förändras kostnaderna för Returpack vid elektrifiering av fordonsflottan?

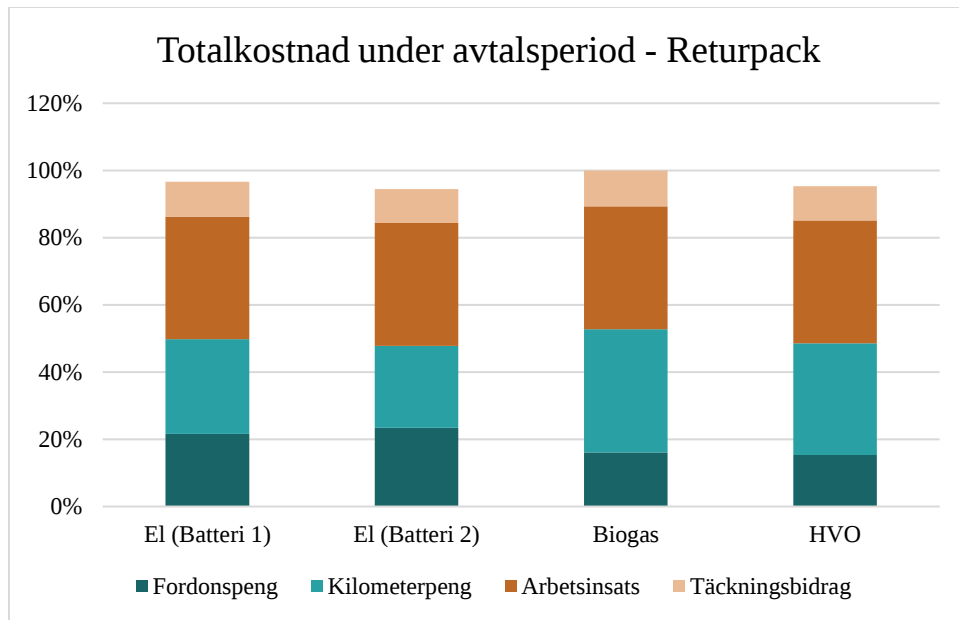
TCO-analysen har även applicerats på Returpacks chartrade fordon och differenserna mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina redovisas i *Figur 57* nedan. Negativa procentsatser illustrerar att kostnaderna minskat vid övergång från nuvarande bränsletyp till el. Ur figuren kan utläsas att det finns en stor variation mellan områden om kostnader minskar eller ökar. Likaså varierar differenserna stort från några enstaka procent till upp till 7%. Bland annat ses att områdena Värmland, SÖV och Östergötland skulle kunna uppnå störst kostnadsbesparingar vid byte till elektrifierade fordon. Det kan förklaras av områdenas höga resurseffektivitet och fordonens höga nyttjandegrad. I områdena Gävleborg, Norrbotten och Västerbotten är resultatet motsatt med kostnadsökningar som följd av elektrifiering. Det beror främst på att dessa områden behöver förlita sig på en hög andel laddning på publika stationer vilket försämrar lönsamheten. Genom att optimera om rutter och förlägga en högre grad av mellanladdning på depå skulle lönsamheten för dessa områden kunna förbättras.



Figur 57: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack.

Vid studier av ett enskilt fordon visualiseras hur olika kostnadsposter skiljer sig mellan olika drivlinor (*Figur 58*). Konfigurationen gäller samma fordon som gavs som exempel hos Renall i avsnittet ovan och visar den totala kostnaden för fordonet under en tioårig avtalsperiod men baseras på den indata som presenterats i *Tabell 38*. Likaså ses här att resultatet är i enlighet med studien gjord av Moll (2020) (*Figur 18*). Däremot har transportköparen Returpack en något annorlunda kostnadsmodell och kostnadsindelning som skiljer sig från transportörens perspektiv.

I figuren ses att kostnadsposterna fordonspeng och kilometerpeng skiljer sig mellan de olika drivlinorna samtidigt som kostnaden för arbetsinsats är relativt oförändrad. Täckningsbidraget består av en procentuell andel av övriga kostnadsposter och skiljer sig således marginellt. Likt transportören Renalls kalkyl är fordonspengen som ska representera kostnad för inköp högre för en elektrifierad drivlina, samtidigt som elektrifierade fordons lägre kostnad för kilometerpeng kompenserar detta vid hög nyttjandegrad. Studeras de totala kostnaderna kan utläsas att en elektrifierad drivlina med batteri 2 i den här konfigurationen skulle innebära lägst totalkostnader. Kostnaderna för el (Batteri 1) är något högre till följd av de ökade kostnader som uppstår vid laddning på publika stationer. Jämförs el (Batteri 1) med HVO är totalkostnaden likvärdig.

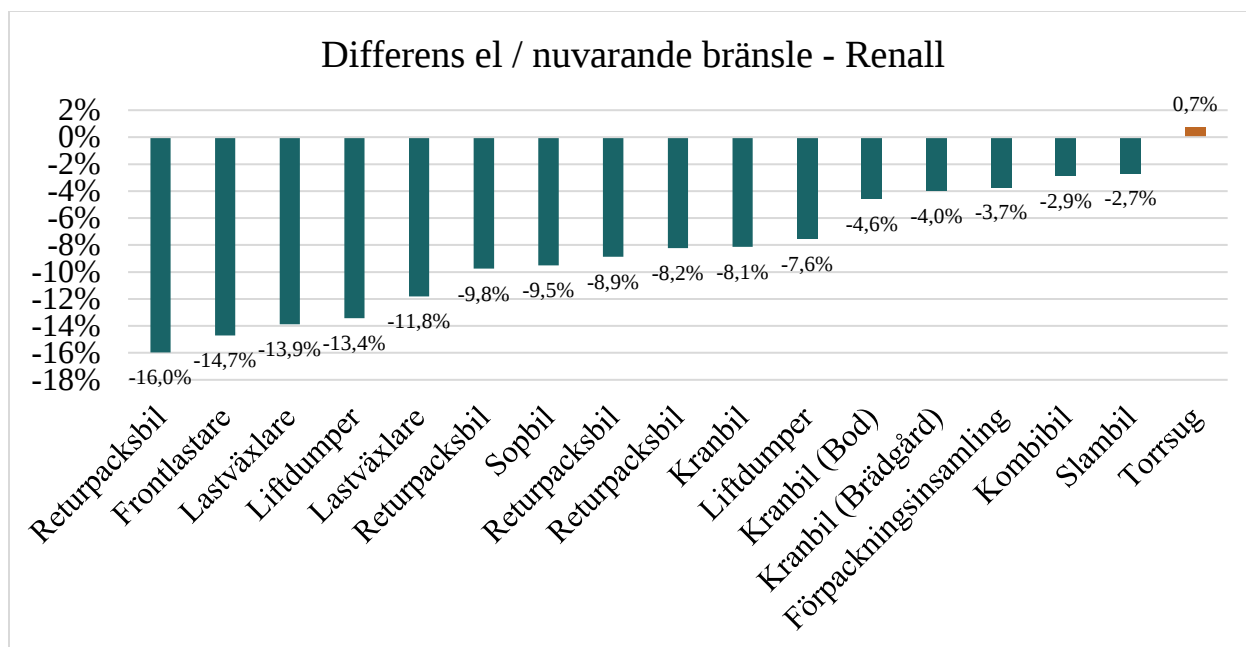


Figur 58: Kostnadsjämförelse mellan två eldrivna, en biogasdriven och en dieseldriven lastbil hos Returpack.

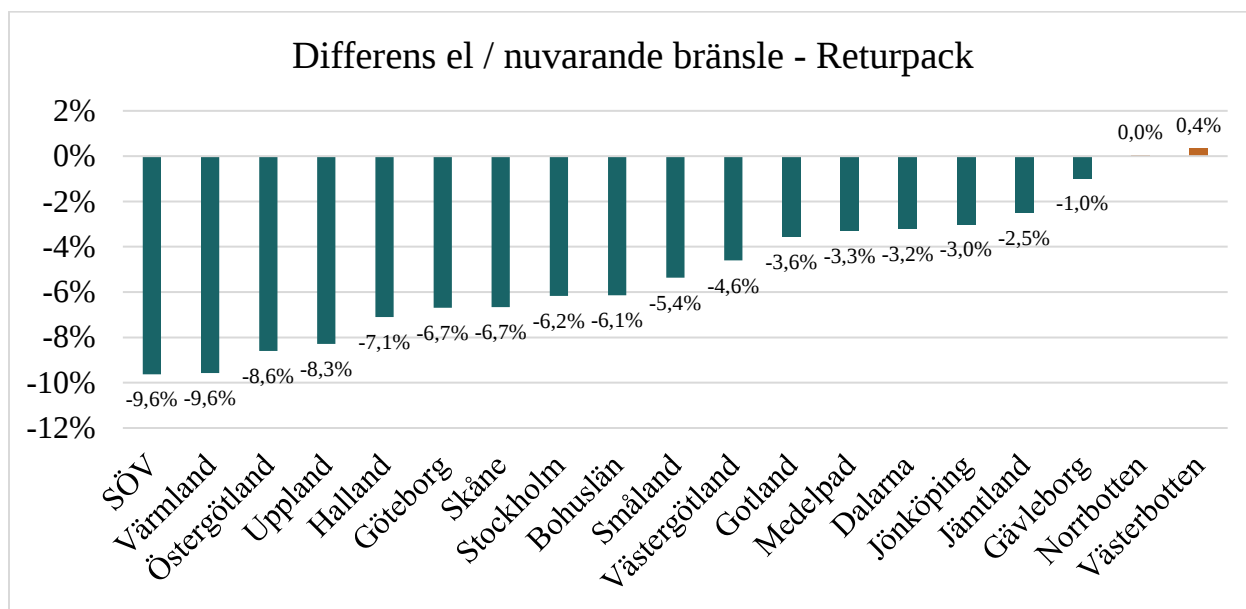
9.2.3 Känslighetsanalys av resultaten i underfråga 4.1a och 4.1b

I de genomförda beräkningarna finns det flertalet ingående parametrar av osäker karaktär. Genom att studera hur totalresultatet förändras när enskilda ingående parametrar ändras fås en bättre förståelse för resultatets robusthet och vilka faktorer som är av stor vikt att ta hänsyn till vid utformning av ett elektrifierat logistiksystem.

Van Velzen et al. (2019) konstaterar att inköpspriserna för elektrifierade fordon troligtvis kommer att minska i framtiden. Om inköpspriserna för elektrifierade fordon minskar med 20% kan totala kostnaderna minskas. För Renall kan då samtliga fordonstyper utom torrsugen uppnå kostnadssänkningar vid implementering av elektrifierade fordon (*Figur 59*). I Returpacks fall ses det att samtliga områden utom Västerbotten och Norrbotten uppnår lönsamhet genom att kostnader vid elektrifierade fordon understiger kostnader för tidigare bränslesort (*Figur 60*). Det erhållna resultatet kan även liknas med osäkerheter i andrahandsvärde (Basma, et al., 2022; Uhrdin, et al., 2023) och miljöpremie (Naturvårdsverket, u.å.) där dessa faktorer kan få liknande effekt på det slutgiltiga resultatet. Klimatklivet ger bidrag på upp till 25% av inköpspriset (Naturvårdsverket, u.å.) vilket skulle påverka resultatet ytterligare.

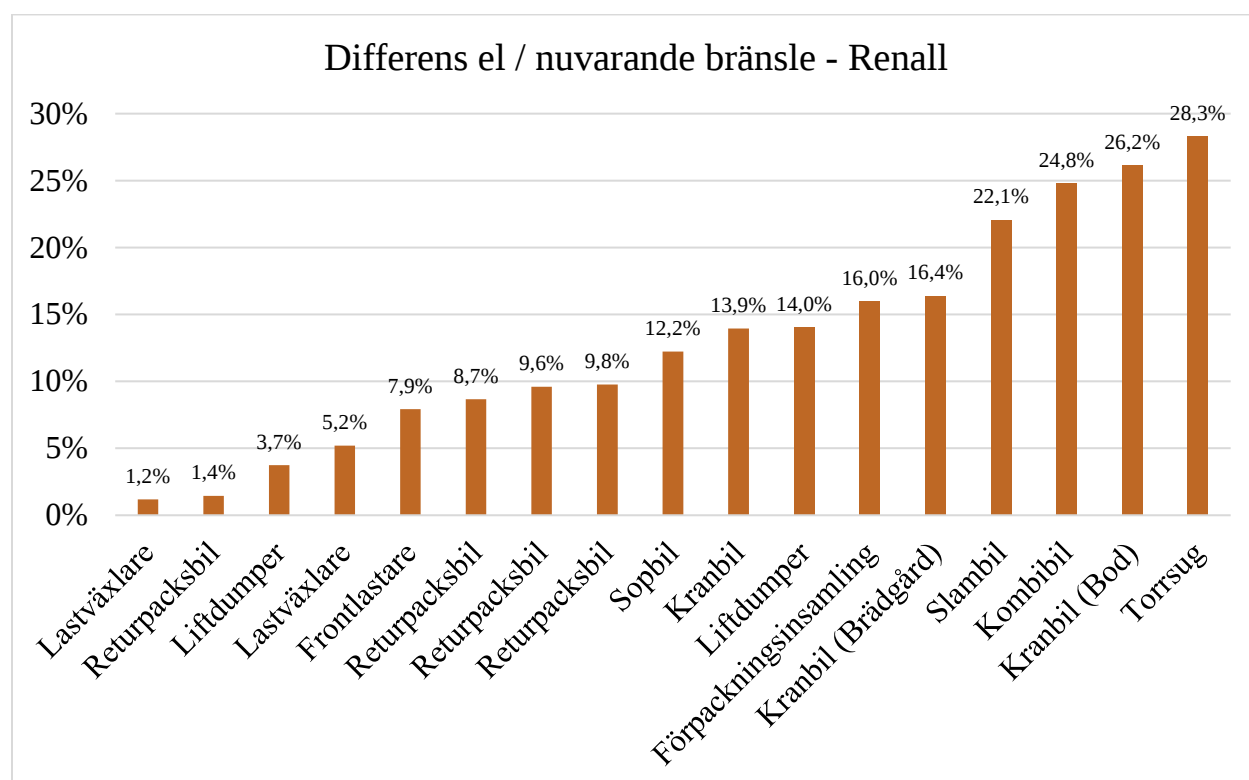


Figur 59: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall om inköpspriset minskar med 20%.

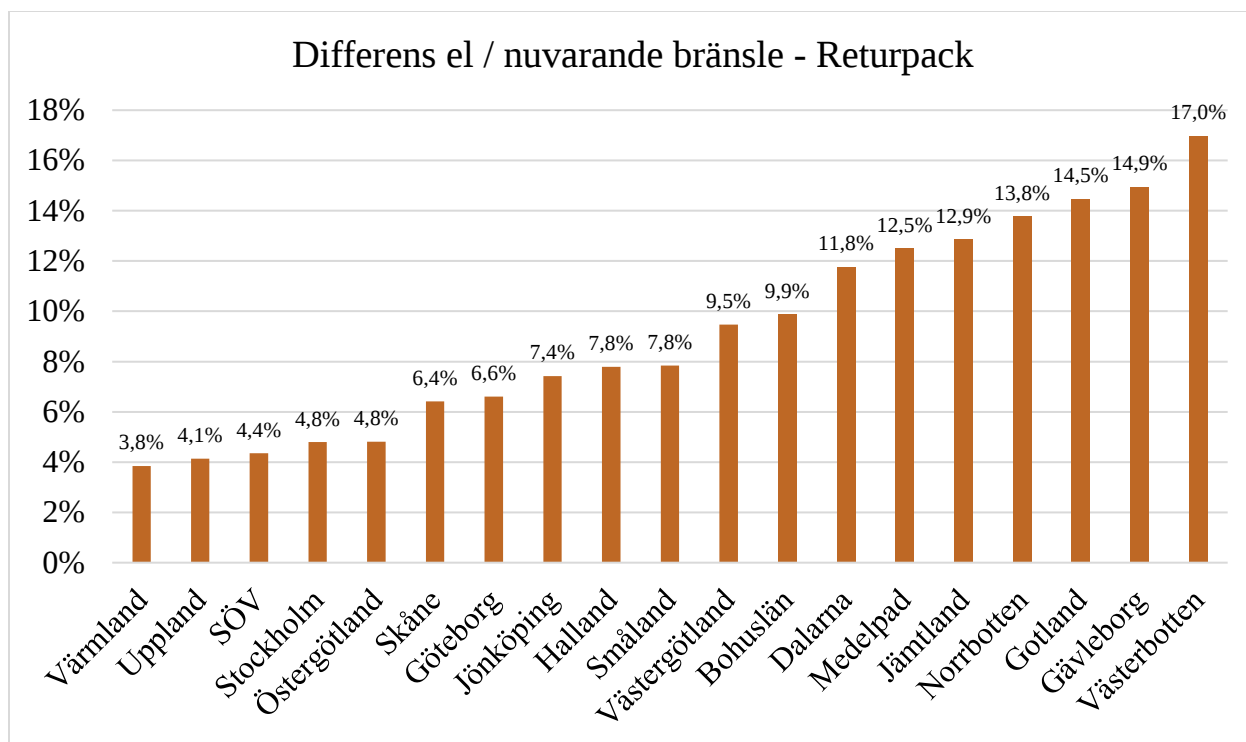


Figur 60: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack om inköpspriset minskar med 20%.

Al-Hanahi et al. (2021) likväl som Lindbom et al. (2024) resonerar att de elektrifierade fordonens högre investeringskostnader kan kompenseras av lägre driftkostnader och att körd sträcka kan ha genomslag på livscykelkostnaden. Det stämmer överens med Uhrdin et al. (2023) som konstaterar att elektrifierade fordon bör ha en hög nyttjandegrad. Likaså föreslår Uhrdin et al. (2023) samt CLOSER (2022) att kontraktslängder bör anpassas och ökas med runt 3-5 år. Konfigurationerna presenterade i *Figur 55* och *Figur 57* var baserade på 10 års kontraktslängd och drygt 100 000 körda kilometer per år. Vid jämförelser med samma fordon och indata fast med lägre nyttjandegrad genom en avtalsperiod på 5 år förändras resultatet och kostnaden för elektrifierade fordon överstiger kostnaderna för fordon med biogas eller HVO (*Figur 61* och *Figur 62*). Resultatet visar att genom att applicera långa kontraktstider och hög nyttjandegrad kan högre lönsamhet uppnås vid användning av elektrifierade fordon. Detta stämmer även överens med kostnadsberäkningarna gjorda av Moll et al. (2020) som påvisar att elektrifierade fordons lönsamhet uppnås genom en hög nyttjandegrad.

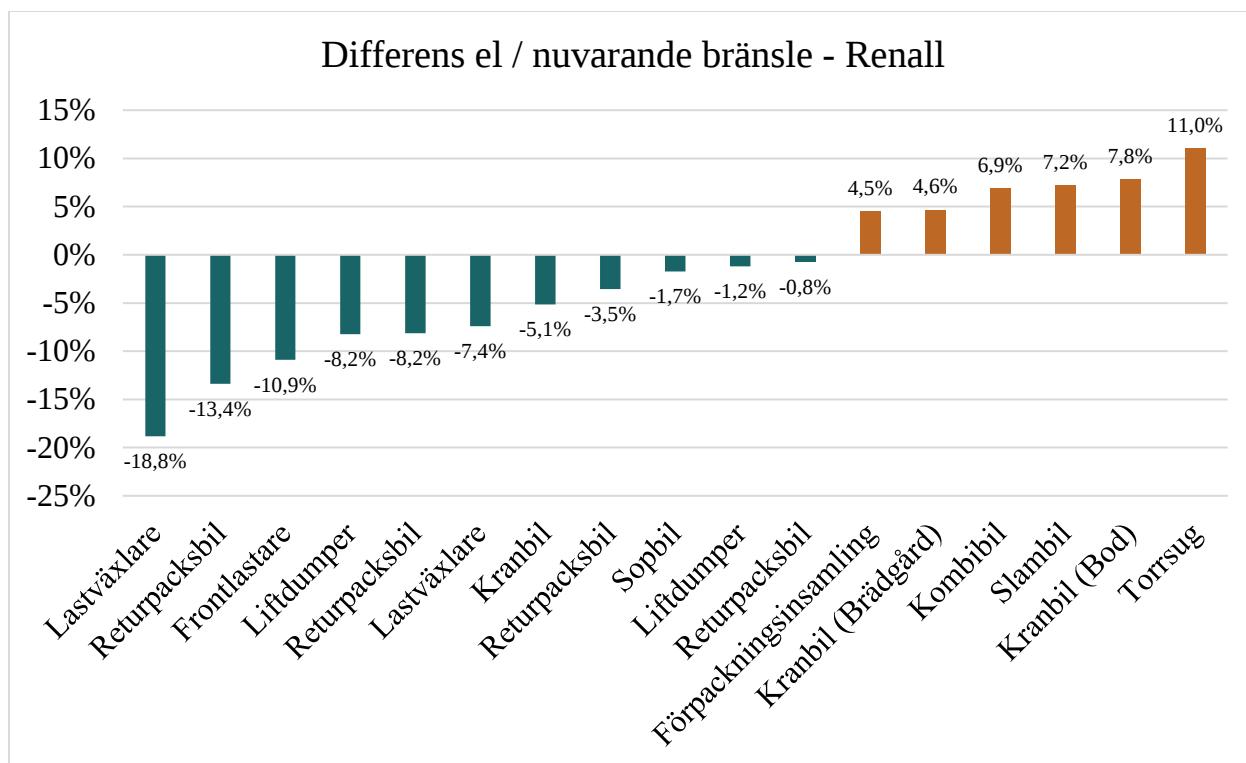


Figur 61: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall om avtalsperioden minskar till 5 år.

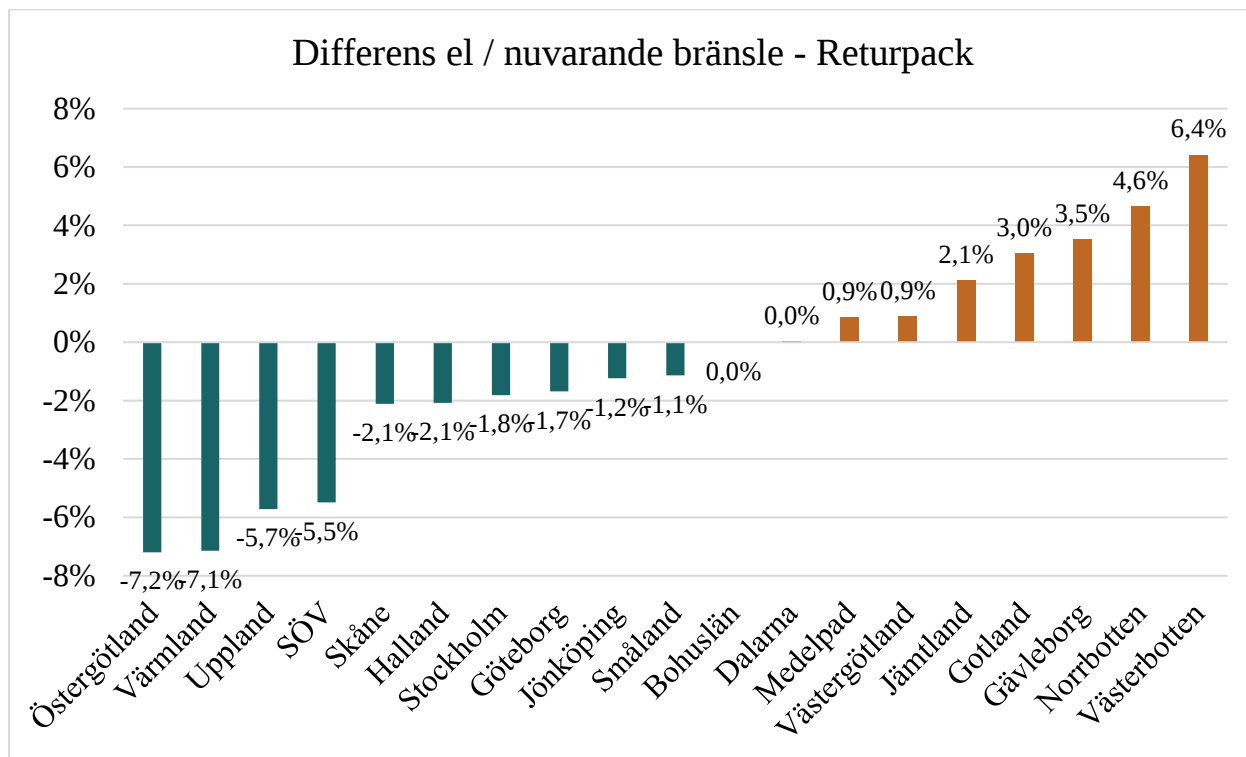


Figur 62: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack om avtalsperioden minskar till 5 år.

För båda fallföretagen kommer andelen mellan publik laddning och depåladdning att variera för olika fordon, fordonstyper och områden. Respektive fordons energiförbrukning och tillgång till laddpunkter är avgörande för hur den fördelningen blir. Hos Renall kommer de fordon som kör regionala transporter behöva förlita sig på större andel publik laddning och de fordon som kör lokalt kommer kunna nyttja större andel depåladdning. För Returpack är fördelningen mellan olika laddpunkter beroende av respektive område och deras underleverantörers karaktär. Fordonet i exempelkonfigurationen beräknas behöva ladda ute 35% med batteri 1 och 14% med batteri 2. För Renall och Returpack motsvarar kostnaden för publik laddning en större andel av totalkostnaden för batteri 1 än för batteri 2. Variationer i bränslepriser på publika stationer skulle således påverka det mindre batteriet kraftigare. Å andra sidan motsvarar kostnaden för bränsle för fordon som körs med biogas eller HVO för en ännu högre andel av totalkostnaderna. Variationer i bränslepriser skulle således ha kraftigare påverkan för fordon som kör på biogas och HVO än vad det skulle påverka fordon som kör på el. Det stämmer överens med Basma (2022) som konstaterar att elektrifierade fordon är mindre känsliga för kostnadsvariationer i energipriser på grund av dess höga effektivitet och att elpriser är mindre volatila än dieselpriiser. *Figur 63* och *Figur 64* nedan visar att om publik laddning helt kan undvikas skulle lönsamheten förbättras för fler fordonstyper och områden.



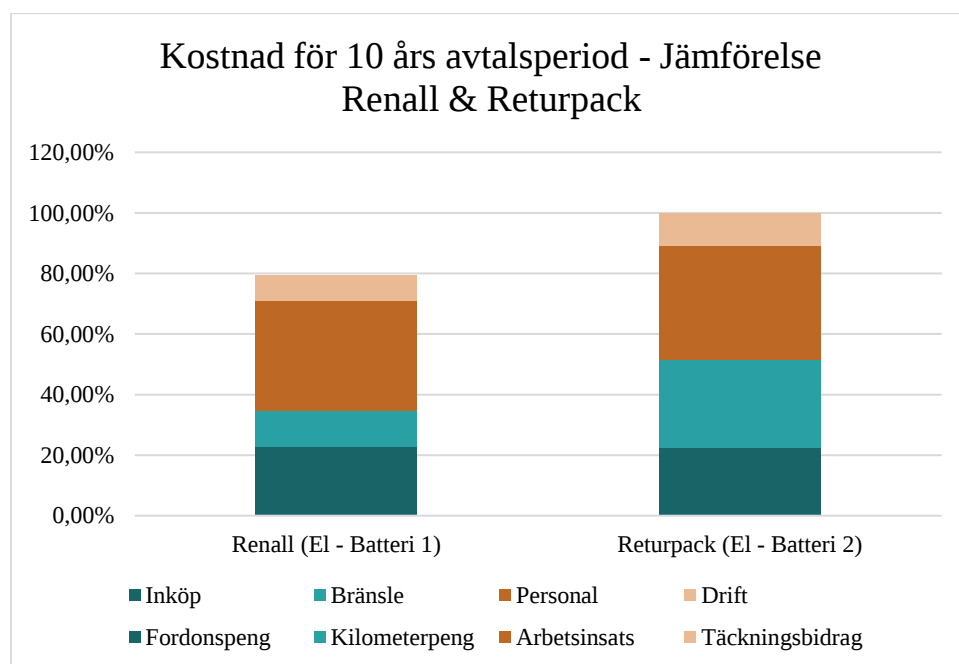
Figur 63: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Renall om all mellanladdning sker på depå.



Figur 64: Sammanställning av differensen för kostnader mellan elektrifierad drivlina och nuvarande drivlina hos Returpack om all mellanladdning sker på depå.

9.3 Vilka likheter och skillnader i kostnadsfördelning kan identifieras hos Renall och Returpack?

Följande avsnitt ämnar belysa skillnader och likheter i kostnadsfördelning hos Returpack och Renall, men även agera som sammanfattning av kapitel 9. Som kan ses i kostnadsanalyserna för transportören Renall och transportköparen Returpack ser kostnadsmodellerna och dess tillhörande kostnadsposter olika ut för de olika aktörerna. Renalls kalkyl är uppdelad i kostnader för inköp, bränsle, personal och drift samtidigt som Returpacks kalkyl består av fordonspeng, kilometerpeng, arbetsinsats och täckningsbidrag. Dessa poster innefattar liknande ingående parametrar i enlighet med [Tabell 37](#) och [Tabell 38](#), men paketeras olika. En sammanställning av kostnaderna som uppkommer under en 10-årig avtalsperiod presenteras i [Figur 65](#) nedan.



Figur 65: Jämförelse mellan Renalls kostnadsstruktur och Returpacks kostnadsmodell för ett exemplfordon.

Hos Returpack finns ingen explicit kostnadspost för drift, utan kostnadsposten delas upp och inkluderas i fordonspeng och kilometerpeng. Trots detta kan ses att transportören Renalls faktiska kostnader för inköp av fordonet överstiger den ersättning som transportköparen Returpack betalar ut i kategorin fordonspeng. Detta beror på att Returpacks fordonspeng inte tar hänsyn till transportörens sätt att finansiera fordonet. Om en transportör väljer att köpa in ett fordon på kredit får de inte betalt för merkostnaderna det innebär.

Kilometerpengen är generöst dimensionerad från Returpack och täcker in mer än enbart bränslekostnader. Däremot ingår en stor del av fordonets driftkostnader i denna post och skulle transportörens samtliga driftkostnader adderas till denna post skulle det inte längre vara lönsamt. Studeras personalkostnader ses det att ersättning från Returpack betalas ut utifrån hur många

timmar som krävts för att genomföra rutterna och dessa täcker således Renalls personalkostnader för det utförda arbetet.

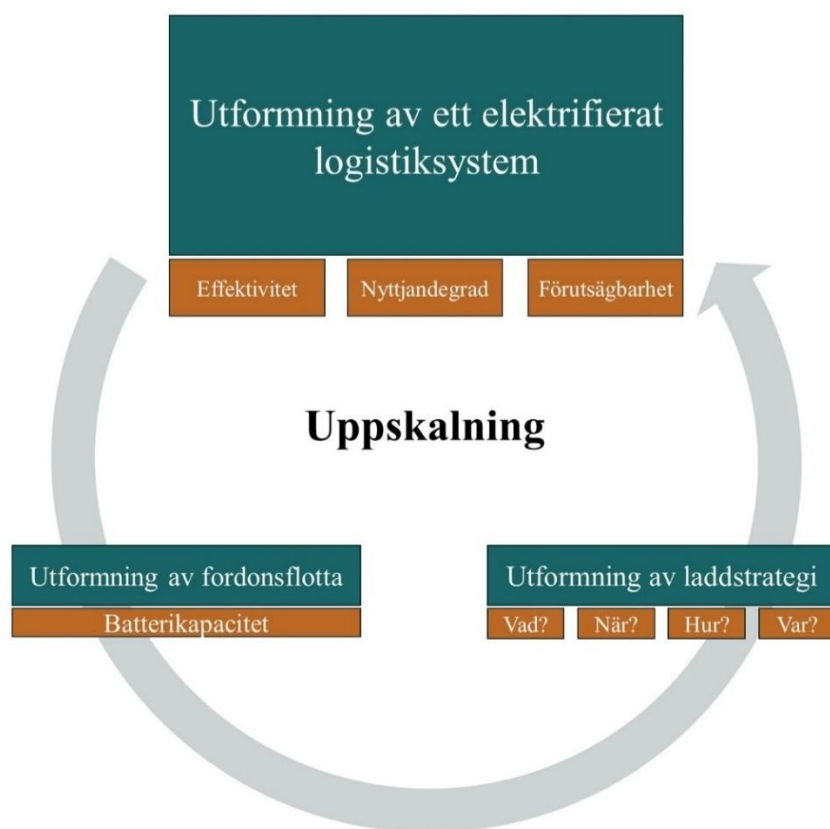
Utan täckningsbidrag är transportköparen Returpacks betalningsmodell relativt heltäckande, då transportören Renalls kostnader täcks. Genom att det dessutom adderas ett täckningsbidrag till de faktiska kostnadsposterna finns det möjlighet för transportören Renall att uppnå lönsamhet på affären. Täckningsbidraget möjliggör även att transportörer kan offerera lägre priser för att vinna upphandlingen. Det innebär inte att transportören går med förlust utan det innebär att de får ut mindre av täckningsbidraget.

10 Slutsats och diskussion

I följande avsnitt sammanställs och generaliseras det resultat som erhållits och ämnar besvara studiens frågeställning och syfte. Resultatet diskuteras för att avgöra resultatets tillförlitlighet och generaliserbarhet. Till sist förs en diskussion kring förslag på vidare studier.

10.1 Slutsats

Det kan konstateras att elektrifiering av fordon medför flertalet förändrade förutsättningar som bör hanteras för att säkerställa genomförbarhet. Likaså uppstår utmaningar vid uppskalning eftersom fler fordon belastar och ställer högre krav på befintliga lösningar såsom exempelvis laddinfrastruktur och planering. Som hjälp för detta har en metodik utvecklats för att underlätta uppskalning av elektrifiering (*Figur 66*). Metodiken är utformad för att kunna appliceras på olika företag och kan ses som guidning för företag som önskar elektrifiera. Den består av de tre delarna *utformning av ett elektrifierat logistiksystem*, *utformning av fordonsflotta* samt *utformning av laddstrategi*. Denna metodik har applicerats på de två fallföretagen Renall och Returpack för att utforma en plan för genomförande av elektrifiering.



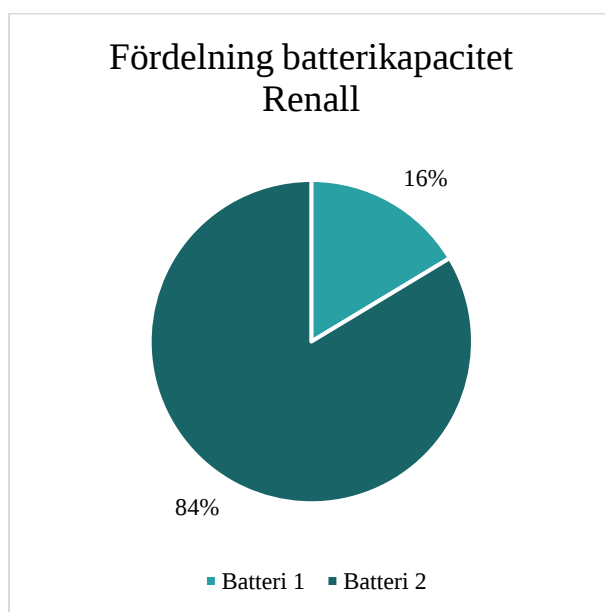
Figur 66: Modell för uppskalning av elektrifiering.

Till följd av fallföretagens olika karakteristik som presenteras i kapitel 7 *Nuläget hos transportör och transportköpare och vad som skiljer dem åt* skiljer sig genomförandet åt mellan aktörerna. Rekommendationerna för hur fallföretagen bör anpassa sitt logistiksystem skiljer sig och beror främst på deras maktposition vid implementering av lösningar men även på deras nuvarande IT-system och kontroll över fordonen. De lösningar som rekommenderas för respektive företag presenteras i *Tabell 39* nedan.

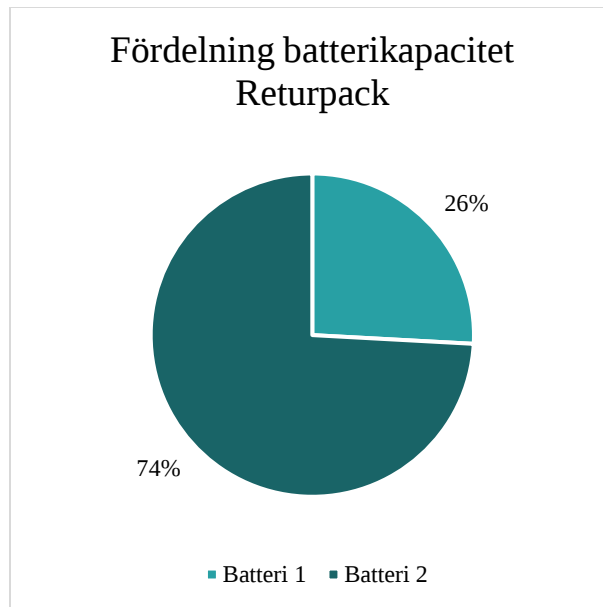
Tabell 39: Rekommenderade lösningar för Renall och Returpack där arbetet bör påbörjas.

Renall	Returpack
Strategisk kompetens	Längre kontraktslängder
Eco-driving	Arbeta med kundrelationer
Utökad effektkontroll	Realtidsdata
IT-system	
Aktivitet under laddning	

Utifrån fallföretagens nuvarande rutter har laddbehov fastställts och med hjälp av en tillhörande ekonomisk jämförelse har beslut om batteristorlek tagits (*Figur 67*) (*Figur 68*). Vid val mellan ett mindre batteri (Batteri 1) och större batteri (Batteri 2) ses att fördelningen ger en majoritet av större batterier men att mindre batterier även förekommer hos båda fallföretagen. Detta på grund av att det större batteriet medför fördelar såsom minskat behov av kostsam och tidskrävande publik laddning, möjlighet till kortare arbetsdagar och ökad flexibilitet. Å andra sidan är ett litet batteri även lämpligt i många fall då det medför flertalet fördelar såsom exempelvis lägre inköpspris, lägre vikt och mer lättmanövrerat fordon.



Figur 67: Fördelning av batterikapacitet hos Renall.



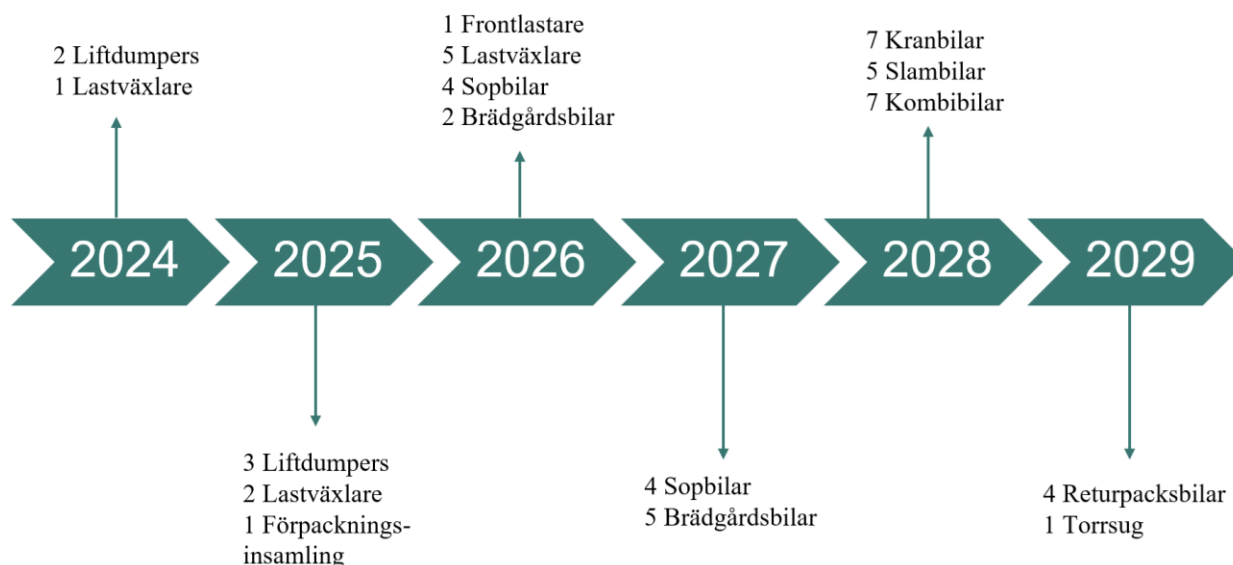
Figur 68: Fördelning av batterikapacitet hos Returpack.

Laddstrategier har tagits fram för båda fallföretagen. Där kan konstateras att dessa är förhållandevis lika för de båda företagen och påverkas snarare av fordonens karakteristik än vilken roll i systemet fallföretagen har. Båda företagen konstateras vara i behov av en *return to base* strategi för laddning mellan skift samt en *on route* strategi för laddning under rutt. Till följd av att det i dagsläget finns brister i laddinfrastrukturen (Teoh, 2022; Lindgren, et al., 2021) bör fallföretagen initialt elektrifiera de fordon som ger upphov till ett lågt laddbehov. Dessutom är en förutsättning för elektrifiering att depåladdning finns installerad med en effekt anpassad efter fordonen som möjliggör såväl långsam- som snabbaddning. För de leverantörer och uppställningsplatser som i dagsläget saknar detta bör elektrifieringen avvaktas, då kostnaden som följer ökad andel publik laddning minskar elektrifieringens lönsamhet. För områden där den publika laddinfrastrukturen är begränsad är laddning *on route* inte genomförbart och därmed försvåras elektrifieringen. Det minskar dock lönsamheten om elektrifieringen genomförs före utbyggnaden av laddinfrastruktur eftersom det för dessa fordon kommer krävas ett större batteri för att minimera laddbehovet under rutt.

Utöver diskussioner kring laddinfrastruktur rekommenderas fallföretagen att påbörja elektrifiering av de fordon där lönsamheten är positiv. För Returpack korrelerar det med deras nuvarande planering för när de nya avtalsperioderna med elektrifierade fordon i fokus ska träda i kraft eftersom denna planering är skapad utifrån förutsättningarna för laddinfrastruktur samt hur redo dess nuvarande logistiksystem är för elektrifiering.

För Renall bör elektrifiering påbörjas för de fordon med lokal körkaraktistik och lågt kraftuttag, vilket motsvarar vissa liftdumprar, lastväxlare och sopbilar. Dessutom finns goda möjligheter att elektrifiera brädgårdsbilarna. Det kräver dock att brädgårdarna investerar i laddinfrastruktur. Dessa kan med fördel vara de första fordonen som beställs enligt planeringen

presenterad i *Figur 2*. Utifrån denna har en ny planering utformats som tar hänsyn till att olika fordonstyper bör elektrifieras olika tidigt i processen (*Figur 69*).



Figur 69: Tidsplan för implementering av elektrifierade fordon hos Renall.

Vid genomförd TCO-analys kan det konstateras att kostnadsstrukturen för ett elektrifierat fordon skiljer sig mot fordon med biogas eller HVO som bränsle. Den största förändringen är de elektrifierade fordonens högre inköpspriser. Detta kan dock kompenseras genom de elektrifierade fordonens lägre bränslekostnader och genom att öka nyttjandegraden och förlänga kontraktslängder för elektrifierade fordon kan bättre lönsamhet uppnås. Likaså ses att en enskilt fordonens karakteristik har stark påverkan på resultatet då olika fordonstyper eller områden ger olika lönsamhet. Framför allt är hög nyttjandegrad med många körda kilometer och högt kraftuttag per år en faktor som starkt påverkar om lönsamhet kan uppnås eller ej. Vid jämförelser mellan transportören Renall och transportköparen Returpack ses att kostnadsmodellerna skiljer sig mellan aktörerna, men att den totala ersättning som transportköparen betalar ut täcker de kostnader som uppstår hos transportören.

Vid genomförda känslighetsanalyser av kostnader kan konstateras att en minskning av inköspriset med 20% eller en miljöpremie på 20% av inköspriset skulle ge stor påverkan på resultatet och förbättra lönsamheten avsevärt. Likaså ses att enbart laddning på depå skulle förbättra lönsamheten, men med mindre påverkan. Å andra sidan skulle kortare kontraktslängder få kraftigt omvänt resultat och långa kontraktslängder är således att rekommendera.

10.2 Resultatdiskussion

Fallföretaget Renall har i denna studie givits rollen som transportör av anledning att ovan resultat önskas generaliseras för transportörer. Vid utformning av logistiksystemet identifieras vissa kopplingar till dess roll som transportör eftersom dess roll påverkar maktpositionen, då

transportörer generellt sett har lägre makt än sina transportköpare. Därmed är det generellt sett svårt för transportörer att påverka sina kunder och deras krav. Något som dock underlättar för transportörer är dess närhet till fordonen och chaufförerna, vilket exempelvis kan underlätta påtryckningar för eco-driving. Dock är analysen kopplad till IT-system och realtidsdata exempel på resultat som inte anses vara generaliserbart för Renalls roll som transportör eftersom resonemanget utgår från Renalls specifika situation. Vid utformning av fordonsflottan finns viss generaliserbarhet, då främst för de transportörerna med liknande fordonstyper och geografisk utbredning. Renalls resultat bedöms inte vara generaliserbart för transportörer med fokus på godstransporter och inte heller med högre andel längre transport.

Resultatet som erhöles vid laddstrategi beror inte på Renalls roll som transportör, utan snarare på dess körkaraktäristik. Det kan därmed konstateras att laddstrategier för en aktör bör utformas utifrån körkaraktäristiken och tillgänglig laddinfrastruktur snarare än utifrån dess roll. Resultatet för Renall bygger dessutom på att Renall äger drygt 100 fordon vilket inte är vanligt för alla transportörer då dessa vanligtvis är mindre åkerier eller lastbilscentraler. Trots att en transportköpare helchartrar fordonet och vill täcka en stor del av kostnaden uppstår det ofta högre kostnader för transportören eftersom transportköparen inte inkluderar alla oförutsägbara parametrar som exempelvis transportörens ränta utan bara det faktiska inköpspriset. Dessutom identifieras en risk att en transportör behöver offerera lägre priser för att vinna en upphandling vilket innebär att en transportköparens ersättningsmodell inte överensstämmer med transportörens faktiska kostnader.

Fallföretaget Returpack har i denna studie givits rollen som transportköpare av anledning att de är varuägare. Genom att studera hur Returpack arbetar med transporter, både gällande inköp och operativ planering, liknar Returpacks arbete snarare en transportörs. Det är dock intressant att studera Returpack i rollen som transportköpare, främst vid analys av kostnader, då Returpacks ersättningsmodell inte alltid överensstämmer med transportörers faktiska utgifter. Generaliserbart för Returpacks roll som transportköpare är dess makt över transportleverantörer då Returpack enligt analysen ovan är i en starkare maktposition. I relationen mot sina kunder kan Returpacks maktposition dock inte generaliseras för dess roll som transportköpare. Det eftersom deras kunder bör erhålla maktövertaget till följd av att deras kunder är närmare konsulterna (Kähkönen, & Lintukangas, 2010) men till följd av Returpacks obefintliga konkurrens om hantering av pantsystemet tillfaller maktövertaget Returpack. Vid utformning av fordonsflottan finns generaliserbarhet för transportköpare vars fordon som körs på förutbestämda rutter, exempelvis mjölkrundor.

För val av laddstrategier är det, precis som för Renall, snarare uppdragskaraktäristiken som påverkar resultatet än Returpacks roll som transportköpare. Returpacks ersättningsmodell är utformad av och för Returpacks helchartrade fordon vilket innebär att resultatet av kostnadsberäkningarna inte går att generalisera för en transportköpare. Snarare får en transportköpare jämföra vilka delar de inkluderar i deras ersättningsmodell med de som Returpack inkluderar i sin. Därmed kan kostnadsresultat utifrån inkluderade delar generaliseras

med förutsättningarna att de har liknande uppdragskaraktistik som Returpack. Något som dock kan generaliseras från resultatet av kostnadsberäkningarna är vikten av längre kontraktstider, vilket en transportköpare har störst makt att påverka.

10.3 Resultatkritik

Det resultat som presenteras ovan är baserat på exempel som hämtats från fallföretagen Renall och Returpack. Även om dessa aktörer anses ha en karakteristik generaliserbar för transportörer är det inte alltid säkert att det erhållna resultatet är applicerbart på alla företag. Detta bör tas i åtanke vid tolkning och vidare användning av resultatet. Likaså är resultatet nödvändigtvis inte heltäckande, då utmaningar som andra företag ställs inför inte upptäckts genom att enbart studera två fallföretag. Genom en större population av fallföretag hade resultatet kunnat vara annorlunda och är således något som bör beaktas vid användning av resultatet.

Den genomförda studien utgår från data hämtad ifrån en isolerad tidsperiod. Denna data behöver nödvändigtvis inte representera ett normalfall och kan således ha inverkan på resultatets tillförlitlighet, applicerbarhet och generaliserbarhet. Dessutom exkluderas data under vinterperioden i undersökningar hos Renall vilket ger ytterligare inverkan på resultatet. I de fall där antalet uppdrag under vintern hos Renall inte minskar i samma takt som motsvarande 20% ökning av energiförbrukning vid vinterväglag skapas ett större behov av laddning *on route* vilket påverkar kostnaderna. De kostnadsberäkningar och val av batterikapaciteter som gjorts är därför av osäker karaktär. Skulle dessa kunna genomföras med ovan resonemang i åtanke kan ett mer tillförlitligt resultat erhållas.

Studien tar även utgångspunkt ur Returpacks planerade rutter då den data som kunde erhållas för planerade rutter ansågs vara säkrare och inte påverkats av den mänskliga faktorn. De planerade rutterna motsvarar dock sällan de rutter som faktiskt genomförts. Detta beror på att det finns flertalet faktorer såsom olyckor, vägarbeten, förarbeteenden och akuta uppdrag som gör att det skiljer sig mellan planerat och utfört arbete. Dimensionering av batterikapaciteter bör dock genomföras med utgångspunkt ur verkligheten för att säkerställa ett tillförlitligt resultat. Därför finns en vikt av att studera skillnaderna mellan planerat och utfört arbete så att fordonsflottan kan anpassas om det skiljer sig mycket mellan dessa scenarier. Det resultat som presenterats ovan kan således vara underdimensionerat då det utgår från planerade rutter som fastställts genom ett optimeringssystem. Därtill rekommenderas att utveckla en laddstrategi för nödsituationer för att kunna hantera akuta situationer som uppstår.

Som presenterat i metoden har vissa antaganden behövt göras under arbetets gång. Antaganden kring energiberäkningar beror på avsaknad av eller bristfälliga data. Det har påverkat resultatet då uträknat energibehov varit till grund för de beslut som tagits under arbetets gång. Genom en inledande mer grundläggande datainsamling hade detta kunnat undvikas. Med hänsyn till arbetets begränsade tidsfrist var det dock något som inte kunde genomföras för den innevarande rapporten. Likaså har ett urval av fordon och batterikapaciteter gjorts. Idag finns ett bredare utbud på marknaden med flertalet fordonsleverantörer som erbjuder fordon med olika

batterikapaciteter som exkluderats från arbetet. Det kan vara så att resultatet visat annorlunda om fler leverantörer och batterikapaciteter inkluderats. Till sist har även antaganden kring kostnader behövt göras på grund av de framtida osäkerheter som finns. Detta är något som beroende på kostnadspostens vikt påverkat resultatet av kostnadsberäkningarna mer eller mindre. Likaså är kostnaderna baserade på nuvarande system och de utjämnningar av rutten och förändringar i logistiksystem som i framtiden kan bli nödvändigt har inte kunnat applicerats. Dessa osäkerheter och faktiska förändringar är något som kommer fastställas över tid och genom att genomföra kostnadsanalysen vid ett senare tillfälle kan det undersökas hur resultatet påverkas.

10.4 Vidare studier

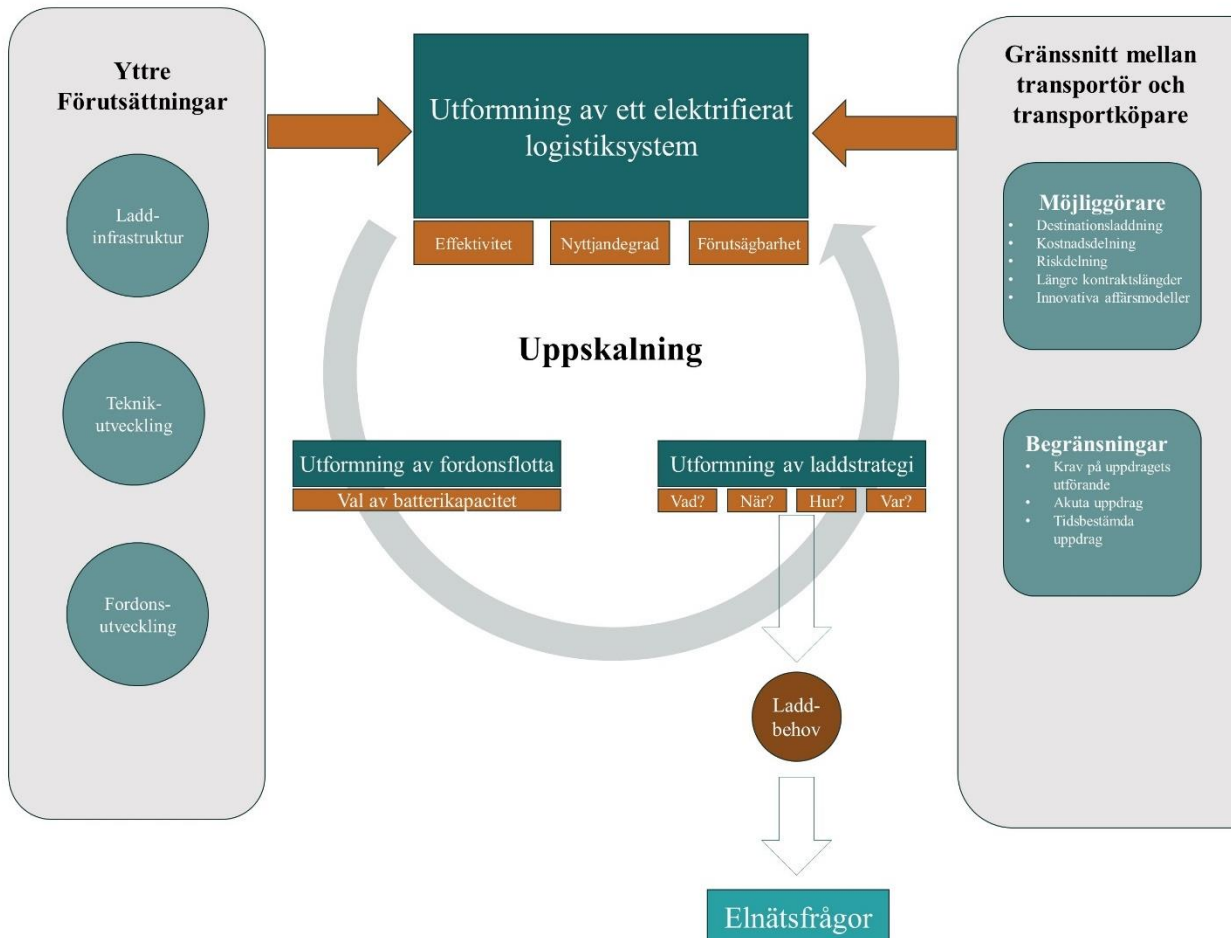
Den innevarande studien har genomförts med tidsbegränsning och de resultat som tagits fram och generaliserats har påverkats därefter. Författarna är medvetna om de begränsningar det medfört och det har under arbetets gång framkommit områden av intressant karaktär som kan studeras vidare för att vidareutveckla och förfinas resultatet. Några förslag på områden för vidare studier presenteras och diskuteras därför nedan.

Den metodik som utvecklats i huvudfråga 1 är framtagen med transportören i fokus. Under arbetets gång har vikten av att inkludera flertalet aktörer framkommit och den utvecklade metodiken kan byggas på för att inkludera fler delar (*Figur 70*). De yttre förutsättningarna förändras ständigt (Lindbom, et al., 2024) och gränssnittet mot transportköpare förändras när kunder försvinner eller tillkommer. Uppskalning av elektrifiering är därmed en dynamisk process som kräver ständig omvärldsbevakning (Lindbom, et al., 2024) och att kontinuerligt genomföra förändringar i såväl logistiksystem som fordonsflotta och laddstrategi för att kunna möta förändringarna. Dessutom är långsiktig planering värdefullt för att säkerställa att den dagliga verksamheten inte äventyras. Det finns risker med att införa elektrifiering utifrån dagens förutsättningar utan att ta med framtida förändringar i beräkningen. För att hantera detta krävs långsiktig och noggrann planering så att logistiksystemet inte optimeras utefter nuläget utan även inkluderar framtida scenarion och att utfasning av dieseldrivna fordon görs på ett hållbart sätt (Uhrdin, et al., 2023; Lindbom, et al., 2024). Enligt Uhrdin et al. (2023) är längre kontraktslängder en viktig aspekt som kan agera förutsättningsbyggande för elektrifiering, vilket kan studeras vidare. Den snabba teknikutvecklingen bidrar till utmaningar i den långsiktiga planeringen (Lindbom, et al., 2024), vilket motiverar till att skapa en organisation där kunskapsinsamling och utbildning blir en naturlig del av den dagliga verksamheten, vilket även är en intressant aspekt att studera vidare. Det stärks av resultatet från REEL vilket konstaterade att utbildning av personal bör inkluderas i den långsiktiga planen för elektrifiering för att kompetens inte ska framstå som ett hinder (CLOSER, 2022). Det behövs därför ny kunskap om tekniskiften och utvecklingstrender för att hantera hinder och nyttja möjligheter i omställningsprocessen (Lindbom, et al., 2024).

Enligt rekommendationer av Axberg (2020) kan inte dialog med nätägaren initieras först när det faktiska nätbehovet har fastställts utan bör initieras direkt när elektrifieringsarbetet påbörjas. Det

kalkylerade laddbehovet ger däremot en skattning som bör agera underlag vid vidare arbete med investeringar i laddinfrastruktur och nätfrågor. Till följd av att denna studie inte inkluderat nätfrågor och mer detaljerad analys av hur laddinfrastrukturen bör utformas är det något som båda fallföretagen bör studera vidare. Hur planeringen för publik laddinfrastruktur bör bedrivas saknas i dagsläget kunskap om, både akademiskt och för fallföretagen, vilket är något som även rekommenderas för vidare studier.

Transportörens uppskalningsarbete



Figur 70: Förslag på vidareutveckling av metodiken som togs fram i huvudfråga 1.

Referenser

- Abrahamsson, M. & Aronsson, H., 1999. Measuring Logistics Structure. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 2(3), pp. 263-284.
- Al-Hanahi, B., Ahmad, I., Habibi, D. & Masoum, M. A., 2022. Smart charging strategies for heavy electric vehicles. *eTransportation*, 13(2022).
- Al-Hanahi, B., Ahmad, I., Habibi, D. & Masoum, M. A. S., 2021. Charging Infrastructure for Commercial Vehicles: Challenges and Future Works. *IEEE Access*, Volume 9, p. 121476–121492.
- Axberg, E. et al., 2020. *Kapacitetsutmaningen i elnätet*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Baek, D. et al., 2020. Optimal Battery Sizing for Electric Truck Delivery. *Energies*, Volume 13(3), p. 709.
- Baird, C. & Cann, M., 2012. *Environmental Chemistry*. 5th ed. New York: W. H. Freeman and Company.
- Basma, H., Rodríguez, F., Hildermeier, J. & Jahn, A., 2022. *ELECTRIFYING LAST-MILE DELIVERY A total cost of ownership comparison of battery-electric and diesel trucks in Europe*, s.l.: International Council on Clean Transportation and Regulatory Assistance Project .
- Björklund, M., 2011. Influence from the business environment on environmental purchasing — Drivers and hinders of purchasing green transportation services. *Journal of Purchasing and Supply Management*, Volume 17, pp. 11-22.
- Björklund, M., 2018. *Hållbara logistiksystem*. 2:1 ed. Lund: Studentlitteratur.
- Björklund, M. & Paulsson, U., 2012. *Seminarieboken*. 2:a ed. Lund: Studentlitteratur.
- Blom, G. et al., 2005. *Sannolikheteori och statistikteori med tillämpningar*. 5:14 ed. Lund: Studentlitteratur AB.
- Blomqvist, P. & Hallin, A., 2015. *Metod för teknologer. Examensarbete enligt 4-fasmodellen*. 1:4 ed. Lund: Studentlitteratur AB.
- Borlaug, B. et al., 2022. Charging needs for electric semi-trailer trucks. *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 2(2022).
- Burke, A. F. et al., 2023. Projections of the costs of medium- and heavy-duty battery-electric and fuel cell vehicles (2020-2040) and related economic issues. *Energy for Sustainable Development*, Volume 77, p. 101343.

- Cabukoglu, E. et al., 2018. Battery electric propulsion: an option for heavy duty vehicles? Results from a Swiss case study. *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, Volume 88, pp. 107-123.
- Chen, R., Liu, X., Miao, L. & Yang, P., 2020. Electric Vehicle Tour Planning Considering Sustainability, Volume 12(9), pp. 1-17.
- CLOSER, 2022. *Regional Electrified Logistics*, s.l.: Lindholmen Science Park AB.
- Colicchia, C., Marchet, G., Melacini, M. & Perotti, S., 2013. Building environmental sustainability: empirical evidence from Logistics Service Providers. *Journal of Cleaner Production*, Volume 59, pp. 197-209.
- Cox, A. et al., 2002. *Supply Chains, Market and Power - Mapping Buyer and Supplier Power Regimes*. London: Routledge.
- Craig, A. & Stanton, N. A., 2018. Eco-driving: the role of feedback in reducing emissions from everyday driving behaviours. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, Volume 20(3), pp. 1-20.
- Cunanan, C. et al., 2021. A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *Clean Technol* , pp. 475-489.
- Daniels, D., Danilovic, M., Wehner, J. & Käck, S., 2022. *Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter: samspelet mellan energisystemet och transportsystemet*, Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI.
- Dimanchev, E., Fleten, S.-E., MacKenzie, D. & Korpås, M., 2023. Accelerating electric vehicle charging investments: A real options approach to policy design. *Energy Policy*, 181(2023).
- Ellram, L. M., 1993. A Framework for Total Cost of Ownership. *The International Journal of Logistics Management*, 4(2), pp. 49-60.
- Energimarknadsinspektionen, 2023a. *Effekttariffer*. [Online]
Available at: <https://ei.se/bransch/reglering-av-natverksamhet/reglering---elnatsverksamhet/effekttariffer#h-Foreskrifterfortariffersomframjarettteffektivtнатutnyttjande>
[Accessed 14 02 2024].
- Energimarknadsinspektionen, 2023b. *Villkorade avtal ska metodgodkännas*. [Online]
Available at: <https://ei.se/bransch/reglering-av-natverksamhet/reglering---elnatsverksamhet/villkorade-avtal-ska-metodgodkannas>
[Accessed 14 02 2024].
- Energimyndigheten, 2022a. *Eleffektbrist*. [Online]
Available at: <https://www.energimyndigheten.se/trygg-energiforsorjning/el/eleffektbrist/>
[Accessed 13 02 2024].

Energimyndigheten, 2022b. *Energikartläggning*. [Online]

Available at: <https://www.energimyndigheten.se/guide-for-energieffektiva-foretag/Energikartlaggning/>

[Accessed 13 02 2024].

Energimyndigheten, 2023. *Växthusgasutsläpp*. [Online]

Available at:

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/drivmedelslagen/vaxthusgasutslapp/>

[Accessed 12 Februari 2024].

Energimyndigheten, 2024. *Regionala elektrifieringspiloter för tunga transporter*. [Online]

Available at: <https://www.energimyndigheten.se/utlysningar/utlysning-regionala-elektrifieringspiloter-for-tunga-transporter/>

[Accessed 07 05 2024].

Eriksson, A. et al., 2023. *REDIG- Regionala godshubbar i Göteborg*, Borås: RISE - Research Institute of Sweden.

European Council, 2023. *Alternative fuels infrastructure: Council adopts new law for more recharging and refuelling stations across Europe*. [Online]

Available at: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/alternative-fuels-infrastructure-council-adopts-new-law-for-more-recharging-and-refuelling-stations-across-europe/>

[Accessed 30 01 2024].

Fahy, J., 2022. *Foundations of marketing*. 6:e ed. London: McGraw-Hill.

Fioriti, D. et al., 2023. Battery lifetime of electric vehicles by novel rainflow-counting algorithm with temperature and C-rate dynamics: Effects of fast charging, user habits, vehicle-to-grid and climate zones. *Journal of Energy Storage*, Volume 59, p. 106458.

Fossilfritt Sverige, u.å.. *Fossilfritt Sverige*. [Online]

Available at: <https://fossilfrittsverige.se/utmaningar/transportutmaningen/>

[Accessed 12 01 2024].

Gillström, H., 2023. Regional Electrified Logistics: Review of research projects, academic publications, and perspective of the industry. *Linköping University Electronic Press*, p. 23.

Göhlich, D. et al., 2018. Design of urban electric bus systems. *Design Science*, Volume 4.

Haag, L., Abrahamsson, M. & Aldin, N., 2024. *Trafikverkets logistik och utveckling mot godstransporter med nollutsläpp – en förstudie*, Borlänge: Trafikverket.

Hammes, J. J., 2020. Potential för utsläppsminskningar från elektrifiering av godstransporter på Europavägar. *VTI Working Paper*.

- Holguín-Veras, J. et al., 2017. Fostering unassisted off-hour deliveries: The role of incentives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 102, pp. 172-187.
- Holmström, N. & Lindholm, G., 2011. *Företagsekonomi - från begrepp till beslut*. 6:2 ed. Stockholm: Sanoma Utbildning AB.
- Hong, B., 2023. *Exergy Evaluation of Engine Operations: Combustion Process to Exhaust Flow*, Stockholm: KTH Royal institute of technology.
- Huang, W.-D. & Zhang, Y.-H. P., 2011. Energy Efficiency Analysis: Biomass-to-Wheel Efficiency Related with Biofuels Production, Fuel Distribution, and Powertrain Systems. *PLoS ONE*.
- Hurkens, K., 2006. Total cost of ownership in the services sector: A case study. *Journal of Supply Chain Management*, 42(1), pp. 27-37.
- IPPC, 2023. *CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report Summary for Policymakers*, s.l.: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jazairy, A., 2020. *Engaging in green logistics: An eye on shippers, logistics service providers, and their interactions*, Stockholm: KTH Royal Institute of Technology .
- Karlsson, J. & Grauers, A., 2023. Case Study of Cost-Effective Electrification of Long-Distance Line-Haul Trucks. *Energies*, Volume 16(6), p. 2793.
- Karlström, M., 2020. *Kunskapssammanställning stationär laddning till tunga lastbilar*, s.l.: Lindholmen Science Park.
- Khaligh, A. & Dusmez, S., 2012. Comprehensive Topological Analysis of Conductive and Inductive Charging Solutions for Plug-In Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(8), pp. 3475-3489.
- Kleiner, F. & Friedrich, H. E., 2017. *Maintenance & Repair Cost Calculation and Assessment of Resale Value for Different Alternative Commercial Vehicle Powertrain Technologies*. Stuttgart, German Aerospace Center (DLR), Institute of Vehicle Concepts.
- Kley, F., Lerch, C. & Dallinger, D., 2011. New business models for electric cars - A hollistic approach. *Energy Policy*, 39(2011), pp. 3392-3403.
- Kopasz, J. & Krause, T., 2019. *H2@Ports Workshop Summary Report*., Chicago: Argonne Nationall Laboratory.
- Kumar, S., Usman, A. & Singh Rajpurohit, B., 2021. Battery charging typology, infrastructure, and standards for electric vehicle application: A comprehensive review. *IET Eneergy Systems Integration*, 3(4), pp. 381-396.

- Kähkönen,, A.-K. & Lintukangas, K., 2010. Dyadic Relationships and Power within a Supply Chain Network Context. *Operations and Supply Chain Management*, 3(2), pp. 59-69.
- Leonard, A. S. F., Reasaliati, S. & Axixi, A., 2022. Electrification of a Class 8 Heavy-Duty Truck Considering Battery Pack Sizing and Cargo Capacity. *Applied Sciences*, Volume 12(19), p. 9683.
- Li, B. et al., 2023. Centralized charging station planning for battery electric trucks considering the impacts on electricity distribution systems. *Energy Reports*, 9(2023), pp. 346-357.
- Lindbom, A. et al., 2024. *Elektrifiering, digitalisering och automatisering i vägtransportsystemet*, Borlänge: Trafikverket.
- Lindgren, M. et al., 2021. *Behov av laddinfrastruktur för snabbladdning av tunga fordon längs större vägar*, Borlänge: Trafikverket.
- Magnusson, T., Anderberg, S., Dahlgren, S. & Svensson, N., 2020. Socio-technical scenarios and local practice - Assessing the future use of fossil-free alternatives in a regional energy and transport system. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5(2020), p. 100128.
- Magnusson, T. & Berggren, C., 2017. Competing innovation systems and the need for redeployment in sustainability transitions. *Technological Forecasting & Social Change*, 126(2018), pp. 217-230.
- Mareev, I., Becker, J. & Sauer, D. U., 2017. Battery Dimensioning and life cycle costs analysis for a heavy-duty truck considering the requirements of long-haul transportation. *Energies*, Volume 11, p. 55.
- Martinsen, U., 2014. *Towards greener supply chains inclusion of environmental activities in relationships between logistics service providers and shippers*, Linköping: Linköping Universitet.
- Martinsen, U. & Huge-Brodin, M., 2014. Environmental practices as offerings and requirements on the logistics market. *Logistics Research*, Volume 7, p. 115.
- Miles, M. B. & Huberman, A. M., 1994. *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. 2:a ed. Thousand Oaks, London, New Delhi: Sage Publications.
- Moll, C., Plötz, P., Hadwich, K. & Wietschel, M., 2020. Are Battery-Electric Trucks for 24-Hour Delivery the Future of City Logistics? - A German Case Study. *World Electric Vehicle Journal*, 11(16), pp. 16-34.
- Naturvårdsverket, 2019. *Underlag till regeringens klimatpolitiska handlingsplan*, Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket, 2023. *Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser*. [Online] Available at: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp->

fran-inrikes-transporter

[Accessed 24 Januari 2023].

Naturvårdsverket, u.å.. *Vad du kan få stöd för genom Klimatklivet*. [Online]

Available at:

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/klimatklivet/vad-du-kan-fa-stod-for-genom-klimatklivet/>

[Accessed 11 02 2024].

Nordin, L. & Andersson, J., 2022. *Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter: digitaliseringens möjligheter att effektivisera och påskynda elektrifieringen av transporter – inklusive rättsliga förutsättningar*, Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut.

Nåbo, A. et al., 2024. *Battery-Swapping for Heavy Duty Vehicles: A Feasibility Study on Up-Scaling in Sweden*, Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut.

Nåbo, A. et al., 2023. *Regeringsuppdrag om elektrifieringen av transporter Rekommendationer för att underlätta datadelning och nyttiggörande av data för planering, utveckling och drift av laddinfrastruktur och affärsmodeller*, Linköping: VTI.

Näsström, E. & Hasselgren, B., 2021. *Elektrifiering av tunga transporter: affärsmodeller fas 5*, s.l.: Trafikverket.

Ohno, H., Hatakeyama, J., Nagata, M. & Maeda, T., 2015. Development of Waste Thermal Energy Recovery Heat Pump. *Calsonic Kansei Technical Review*, Volume 11, pp. 52-57.

Oskarsson, B., Ekdahl, B. & Aronsson, H., 2021. *Modern logistik - för ökad lönsamhet*. 5:1 ed. Stockholm: Liber AB.

Pantamera, u.å.-a. *Hållbarhet*. [Online]

Available at: <https://pantamera.nu/sv/om-oss/hallbarhet/>

[Accessed 12 01 2024].

Pantamera, u.å.-b. *Vår verksamhet*. [Online]

Available at: <https://pantamera.nu/sv/om-oss/var-verksamhet/>

[Accessed 12 01 2024].

Patel, R. & Davidson, B., 2020. *Forskningsmetodikens grunder*. 5:4 ed. Lund: Studentlitteratur AB.

Pelletier, S., Jabali, O. & Laporte, G., 2014. Battery Electric Vehicles for Goods Distribution: A Survey of Vehicle Technology, Market Penetration. *Cirrelt*, Volume 43, p. 49.

Pernestål Brenden, A., Koutoulas, A., Fu, J. & Rumpler, R., 2017. *Off-peak City Logistics – A Case Study in Stockholm*, Stockholm: KTH Integrated Transport Research Lab, ITRL .

Perotti, S., Zorzini, M., Cagno, E. & Micheli, G. J., 2012. Green supply chain practices and company performance: the case of 3PLs in Italy. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Volume 42(7), pp. 640-672.

Power Circle, u.å.. *ELIS - Elbilen i Sverige*. [Online]
Available at: <https://powercircle.org/elbilsstatistik/>
[Accessed 23 02 2024].

Regeringskansliet, 2017. *Det klimatpolitiska ramverket*. [Online]
Available at: <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>
[Accessed 12 01 2024].

Renall, u.å.-a. *Hållbara lösningar tillsammans med Renall*. [Online]
Available at: <https://www.renall.se/om-renall/>
[Accessed 15 Januari 2024].

Renall, u.å.-b. *Vision, Värdegund och Affärsidé*. [Online]
Available at: <https://www.renall.se/om-renall/vision-mission-affarside-vardegrund/>
[Accessed 15 Januari 2024].

Returpack, 2023a. *Hållbarhetsredovisning 2022 Returpack Svenska AB*, s.l.: s.n.

Returpack, 2023b. *Återvinning och Pantstatistik 2022*. [Online]
Available at: <https://pantamera.nu/sv/om-oss/hallbarhet/atervinning-och-pantstatistik-2022/>
[Accessed 15 01 2024].

Samet, M., Liimatainen, H., Van Vliet, O. & Pöllänen, M., 2021. Road Freight Transport Electrification Potential by Using Battery Electric Trucks in Finland and Switzerland. *Energies*, Volume 14.

Sandhya, P. & Nisha, G., 2022. *Review of Battery Charging Methods for Electric Vehicle*. Thiruvananthapuram, IEEE.

Sarkis, J., Meade, L. & Talluri, S., 2004. E-logistics and the natural environment. *Supply Chain Management*, Volume 9(4), pp. 303-312.

Schiffer, M., Klein, P., Laporte, G. & Walther, G., 2021. Integrated planning for electric commercial vehicle fleets: A case study for retail mid-haul logistics networks. *European Journal of Operational Research*, Volume 291, pp. 944-960.

Shoman, W. et al., 2023. Battery electric long-haul trucks in Europe: Public charging, energy, and power requirements. *Transportation Research Part D*, 121(2023).

Simm, N., 2021. *Greening Logistics: Implementation of Green Logistics Practices Through Interaction*, Linköping: Linköpings Universitet.

- Simm, N., 2024. *Sharing Resources for Greener Logistics*, Linköping: Linköping University Electronic Press.
- Speth, D. & Funke, S. Å., 2021. Comparing Options to Electrify Heavy-Duty Vehicles: Findings of German Pilot Projects. *World Electric Vehicle Journal*, Volume 12(2), p. 67.
- Stannack, P., 1995. Purchasing Power and Supply Chain Management Power - Two Different Paradigms? - A Response to Ramsay's 'Purchasing power'. *European Journal of Purchasing & Supply management*, 2(1), pp. 47-56.
- Svenska Kraftnät, 2023. *Om elmarknaden*. [Online]
Available at: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/>
[Accessed 13 02 2024].
- Svenska Kraftnät, 2024. *Elområden och prisskillnader*. [Online]
Available at: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/elomraden/elomraden-och-prisskillnader/>
[Accessed 13 02 2024].
- Swapnil, R. R. & Kalkhambkar, V. N., 2021. Grid integration of battery swapping station: A review. *Journal of Energy Storage*, Volume 41, p. 102937.
- Tanco, M., Cat, L. & Garat, S., 2019. A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 228(2019), pp. 1354-1367.
- Teoh, T., 2022. Electric vehicle charging strategies for Urban freight transport: concept and typology. *Transport Reviews*, 42(2), pp. 157-180.
- Tongur, S. & Engwall, M., 2014. The business model dilemma of technology shifts. *Technovation*, 34(2014), pp. 525-535.
- Uhrdin, A., von Hofsten, H. & Noreland, D., 2023. *Elektrifiering av tunga vägtransporter - mycket mer än teknik*, Uppsala: Skogforsk.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, u.å.. *The Paris Agreement*. [Online]
Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
[Accessed 16 01 2024].
- Vachon, S. & Klassen, R. D., 2006. Extending Green Practices Across the Supply Chain: The Impact of Upstream and Downstream Integration. *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 26(7), pp. 795-821.
- van Velzen, A., Annema, J., van de Kaa, G. & van Wee, B., 2019. Proposing a more comprehensive future total cost of ownership estimation framework for electric vehicles. *Energy Policy*, Volume 129, pp. 1034-1046.

- Volvo Trucks, 2023. *Vanliga frågor och svar om eldrivna lastbilar*. [Online]
Available at: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/trucks/trucks/alternative-fuels/electric-trucks/faq.html#accordion-779f937742-item-aaa7cfd8c4>
[Accessed 25 Januari 2024].
- Volvo Trucks, 2024. *Volvo FMX Electric*. [Online]
Available at: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/trucks/electric/volvo-fmx-electric.html>
[Accessed 29 Januari 2024].
- Whitehead, J., Whitehead, J., Kane, M. & Zheng, Z., 2022. Exploring public charging infrastructure requirements for short-haul electric trucks. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(9), pp. 775-791.
- Wolf, C. & Seuring, S., 2010. Environmental Impacts as Buying Criteria for Third Party Logistical Services. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Volume 40 (1/2), pp. 84-102.
- Wu, G., Inderbitzin, A. & Bening, C., 2015. Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments,. *Energy Policy*, Volume 80, pp. 196-214.
- Xuebing, H. et al., 2019. A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle. *eTransportation*.
- Yang, C.-L., Ni, M.-H. & Wei, C.-C., 2011. Timing for Launching a New Product to Maximize Overall Profit. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 19(3), pp. 201-212.
- Yang, S., Ning, L., Tong, L. C. & Shang, P., 2021. Optimizing electric vehicle routing problems with mixed backhauls and recharging strategies in multi-dimensional representation network. *Expert Systems with Applications*, Volume 176, p. 114804.
- Zhao, Z., Guoyuan, W., Boriboonsomsin, K. & Kailas, A., 2021. *Vehicle Dispatching and Scheduling Algorithms for Battery Electric Heavy-Duty Truck Fleets Considering En-route Opportunity Charging*. Irvine, IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech).
- Zhu, Q., Sarkis, J. & Lai, K., 2008. .Green supply chain management implications for "closing the loop". *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, Volume 44, pp. 1-18.

Bilagor

Bilaga A

Fullständig söklogg för litteraturinsamling till avsnitt 3 Referensram.

	Databas	Datum	Sökterm	Sökfält	Avgränsningar
Drivlinor hos tunga fordon	UniSearch	2024-01-23	Electrification AND heavy trucks	Titel	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-23	Heavy-Duty Vehicle Powertrain	Titel	Peer-reviewed, academic articles
	Trid	2024-01-29	electrification heavy-duty vehicles	Alla	-
	UniSearch	2024-01-29	battery electric heavy duty trucks AND technical	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-29	(AB Maintenance cost) AND (AB (electric AND vehicles))	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-29	(AB (heavy-duty AND battery-electric)) AND (AB vehicle) AND (AB Compar*)	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-29	(AB (electric vehicle)) AND (AB Battery lifetime)	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-23	(charging AND strateg*) AND (heavy AND vehicle)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
Laddning	UniSearch	2024-01-23	(charging AND strateg*) AND (heavy AND truck)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-23	(charging AND infrastructure)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-23	(charging AND infrastructure)	Alla	Peer-reviewed, academic articles

	UniSearch	2024-01-23	AND (heavy AND truck) (charging AND infrastructure) AND (heavy AND truck) AND Sweden	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-31	(charger type) AND (electric truck)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-31	(EV charger) AND (three power level) AND review	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-31	(charging delivery rate) AND (AC) AND (DC)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-13	(power requirement) AND (power peak) AND (tariff) AND (swedish)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
Utformning av ett elektrifierat logistiksystem	UniSearch	2024-01-25	(TI Electri*) AND (TI vehicle) AND (TI schedule)	Titel	Peer-reviewed, academic articles, senaste 5 åren
	UniSearch	2024-01-25	(TI Electri*) AND (TI Vehicle) AND (TI route)	Titel	Peer-reviewed, academic articles, senaste 5 åren
	UniSearch	2024-01-25	(TI Electri*) AND (TI vehicle) AND (TI planning) AND (TI range)	Titel	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-25	(TI Electri*) AND (TI Vehicle) AND (TI Night)	Titel	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-01	(route) AND (Electric*) AND (vehicle OR truck*)	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-01	optimizing AND routing AND electric vehicles	Alla	Peer-reviewed, academic articles

	UniSearch	2024-02-06	Unassisted off-hour deliveries	Titel	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-07	(AB (operational AND flexibility)) AND (AB (electric AND vehicles))	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-07	(TI (operational AND flexibility)) AND (AB (electric AND vehicles))	Titel och abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-07	Electric vehicle routing problem	Titel	Peer-reviewed, academic articles
Kostnadsanalys	UniSearch	2024-01-24	TCO AND (electric trucks)	Titel	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-24	(electric truck) AND (cost item)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-24	(electric AND truck)) AND (investment)	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
Uppskalning	UniSearch	2024-01-25	(scaling AND up) AND (s AND curve) AND (business)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-25	AB ((scal* AND up) AND (s AND curve) AND (business))	Abstrakt	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-01-25	((diffusion AND "of" AND innovations))) AND (AU rogers E.M)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-12	SU (((product AND life AND cycle)) AND ((transition AND management)))	Ämnestermier	Peer-reviewed, academic articles

	UniSearch	2024-02-14	(electric truck) AND (scaling up)	Alla	Peer-reviewed, academic articles
	UniSearch	2024-02-14	(business model innovation) AND (electric truck)	Alla	Peer-reviewed, academic articles

Bilaga B

Intervjuunderlag för Renalls chaufförer.

Inledningsvis informerar författarna om studiens syfte och hur den insamlade informationen kommer användas.

- Vilket eller vilka fordon brukar du köra?
- Är det bara du som kör det fordonet du kör? Om ja, vilka arbetstider har du?
 - Hur länge har du gjort det?
- Varifrån utgår du?
- Hur ser karaktistiken ut på dina uppdrag?
- Hur ser variationen ut från dag till dag?
 - Uppdrag
 - Fördelning lokalt och regionalt
 - Körd sträcka
 - Kraftuttag
- Är lastvikten en begränsande faktor?
- Förekommer mycket akuta uppdrag?
- Är du beroende av att passa tidsslottar?
- Hur ser flexibiliteten ut och möjligheten att själv planera rutterna?
- Återvänder du ofta till kontoret i Norrköping för lunch?
- Hur ser rutinerna ut för dagligt underhåll av fordonet?

Om tid finns:

- Vad är din inställning till elektrifiering av lastbilar?
- Något om behov av utbildning? Eco-driving? Kunskapsdelning
- Tror du att du idag skulle kunna bli inkastad i en elbil?

Bilaga C

Intevjuunderlag för transportplanerare och driftledare på Renall.

Inledningsvis informerar författarna om studiens syfte och hur den insamlade informationen kommer användas.

- Vilket eller vilka fordon brukar du planera?
 - Hur länge har du gjort det?
- Är det bara du som gör det? Om ja, vilka arbetstider har du?
- Hur är en typisk dag?
- Vad är mest utmanande i jobbet?
- Hur ser karaktistiken ut på dina uppdrag?
- Hur ser variationen ut från dag till dag?
 - Uppdrag
 - Fördelning lokalt och regionalt
 - Körd sträcka
 - Kraftuttag
- Förekommer mycket akuta uppdrag?
- Är dina transporter beroende av att passa tidsslottar?
- Hur ser flexibiliteten ut och möjligheten att själv planera rutterna?
- Hur ser rutinerna ut för dagligt underhåll av fordonet?
- Vad tror du är de största utmaningarna med elektrifiering?
 - Hur tror du att det bör hanteras?
- Påverkas du i ditt arbete av teknikutveckling?
- Hur upplever du systemstödet? Funkar det bra?
 - Vad skulle ni önska att systemet gav er och vilka system vore optimalt om systemet pratade med?
 - Hur skulle en kartläggning av laddinfrastruktur fungera med ert system?
- Om du skulle få frågan om hur en bil användes ett datum i maj förra året, hur skulle du ta reda på det?

Om tid finns:

- Vad är din inställning till elektrifiering av lastbilar?
- Något om behov av utbildning? Eco-driving? Kunskapsdelning
- Hur redo är du för att planera en elbil?