



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 22013

Examensarbete 30 hp

Juni 2022

Elektrifiering av tunga vägtransporter

En undersökning kring implementeringen av eldrivna
tung lastbilar på Gotland

Taru Luttinen
Clara Palmersjö



UPPSALA
UNIVERSITET

Electrification of heavy road transports

Taru Luttinen
Clara Palmersjö

Abstract

This study aims to evaluate how an electrification of heavy vehicles can be realized in practice on Gotland to promote the development of renewable energy and gain an understanding of how the energy system should be developed.

A case study has been carried out at Roma Grus, a haulage company who has used an electric truck within their business as a part of a pilot project led by Ecoloop AB. The case study includes an evaluation of the pilot project and also a comparison between diesel and electric trucks based on the haulier's transports. The results show that the vehicle in the pilot project is difficult to apply to Roma Grus since it is not adapted for the business's long, irregular and high-consumption routes. Both higher battery capacity and charging power and an increased charging infrastructure are required. An electrification of the haulier's transports would lead to higher investment costs but cheaper fuel costs and significantly lower emissions.

This study also examines a full-scale electrification of Gotland's heavy diesel vehicles by investigating the impact on the energy system and greenhouse gas emissions. The results show that the energy demand from electric trucks would at most correspond to two percent of the current annual electricity consumption on Gotland. Regarding power consumption, fast charging of the vehicles will be a challenge due to lack of capacity in the electricity grid. However, if a full-scale electrification of heavy transport were to take place, the emissions could significantly reduce.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Ann Segerborg-Fick Ämnesgranskare: Joakim Munkhammar

Examinator: Elísabet Andrésdóttir

Populärvetenskaplig sammanfattning

Sverige har som klimatmål att växthusgasutsläppen inom transportsektorn ska minska med 70 procent mellan år 2010 och 2030, och år 2040 ska hela fordonsflottan vara fossilfri (Power Circle, 2021). År 2020 hade utsläppen reducerats med totalt 27 procent (Naturvårdsverket, u.å, a), vilket visar att det krävs ytterligare åtgärder för att nå målen. Genom att ersätta fossila drivmedel med hållbara förnybara drivmedel kan utsläppen minska, och en åtgärd för detta är att genomföra en omfattande elektrifiering (Regeringskansliet, u.å). Eftersom tunga fordon står för 30 procent av växthusgasutsläppen från inrikes transporter, och antalet eldrivna tunga lastbilar i landet är endast 104 (Power Circle, 2022), är elektrifieringen av tunga fordon ett stort utvecklingsområde för att reducera utsläppen.

I uppdrag av Energimyndigheten verkar Gotland som ett pilotområde för Sveriges energiomställning (Energimarknadsinspektionen, 2020). Denna studie avser att studera ett av projekten för att få en överblick hur introduktionen av eldrivna fordon kan realiseras på arbetsplatser. Pilotprojektet "Elektrifiering av tunga lastbilar genom smart samverkan i energisystemet" utförs på Gotland av konsultföretaget Ecoloop AB, där åkeriet Roma Grus har testat en ellastbil i verklig användning. Utifrån en utvärdering av pilotprojektet lyfter denna studie fram utmaningar med elektrifieringen och analyserar implementeringen av ellastbilar genom intervjuer och beräkningar av fordonets elförbrukning. Som komplement för att analysera elektrifieringen av åkeriets verksamhet utvecklades en modell för att jämföra användningen mellan diesel- och ellastbilar med avseende på laddbehov, körtider, kostnader samt utsläpp. Studien inkluderar utöver detta även tre olika scenarier för att kunna jämföra hur olika batterikapacitet och laddeffekt kan påverka implementeringen av tunga ellastbilar.

Resultatet från fallstudien visar att Roma Grus verksamhet inte har optimala förutsättningar för att använda sig av eldrivna fordon eftersom de kör varierat, över långa avstånd och med tung last, vilket resulterar i en förhållandevis hög energiförbrukning. Detta gör att eldrivna motsvarigheter till Romas Grus fordon hade krävt snabbladdning utanför depå, vilket i dagsläget inte är möjligt då laddinfrastrukturen för tunga fordon inte är utvecklad. I pilotprojektet framgår även problematiken kring laddning, då ellastbilen inte har kunnat anpassas till åkeriets vanliga transporter på grund av kort räckvidd samt bristande tillgång till både laddstationer samt snabbladdning med tillräckligt hög effekt. Bortsett från problemen med räckvidd och laddning, har ellastbilen i pilotprojektet upplevts minst lika bra som en diesellastbil, och har dessutom varit väldigt bekväm, tyst samt smidig att köra. Samtidigt skulle en elektrifiering av Roma Grus fordon innebära reducerade drivmedelskostnader samt en minskning av växthusgasutsläppen med 93 procent.

I samband med pilotprojektet fick Sveriges åkeriföretags lokala förening på Gotland i uppdrag av Gotlands Energi AB (GEAB) att undersöka energiförbrukningen av öns transporter år 2030 förutsatt eldrift. Utöver detta pågår en diskussion kring hur öns

energisystem hade hanterat en elektrifiering av bland annat Gotlands stora cementföretag (Energimarknadsinspektionen, 2020). I denna studie undersöks därför också energi- och effektbehovet av en omfattande elektrifiering av tunga transporterna på Gotland. Energibehovet beräknades till 17 GWh under ett år, vilket endast motsvarar cirka två procent av Gotlands aktuella energiförbrukning. Effektbehovet är däremot en större utmaning, då den nuvarande kapaciteten i elnätet endast hade klarat av 50 kW nattladdning om samtliga diesellastbilar på ön skulle övergå till el och laddas under samma tidpunkt. Vid snabbladdning hade lastbilarna behövt anpassa laddningen genom att ladda under olika tider för att undvika höga effekttoppar.

Eftersom klimatmålen är den främsta anledningen till elektrifiering av tunga transporter, har studien även uppskattat hur en elektrifiering av Gotlands transporter hade påverkat växthusgasutsläppen. Vid en omställning till eldrift visar resultaten på att utsläppen för tunga transporter skulle kunna minska med cirka 93 procent.

Förord

Detta examensarbete avslutar vår civilingenjörsutbildning i system i teknik och samhälle vid Uppsala universitet. Examensarbetet omfattar 30 hp och har utförts i samarbete med konsultföretaget Ecoloop AB.

Vi vill rikta ett stort tack till medarbetarna på Ecoloop, och särskilt vår handledare Ann Segerborg-Fick, som bistått med vägledning under arbetets gång. Vi vill även tacka Roma Grus för deras medverkan i fallstudien, samt vår kontaktperson Emil Höglund som ständigt varit tillgänglig för frågor.

Slutligen vill vi passa på att tacka vår ämnesgranskare Joakim Munkhammar för goda råd och stöttning under arbetet.

Taru Luttinen och Clara Palmersjö, juni 2022

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Syfte och frågeställningar	2
1.2 Avgränsningar	2
2. Bakgrund.....	4
2.1 Utsläpp och mål inom transportsektorn.....	4
2.2 Tunga transporter	6
2.3 Elektrifiering av tunga transporter	6
2.4 Laddning av elbilar	7
2.5 Laddinfrastruktur för tunga transporter.....	8
2.6 Kostnader och lönsamhet.....	9
2.7 Aktuella pilotprojekt i Sverige	11
2.8 Gotland	12
2.8.1 Utsläpp och klimatmål	12
2.8.2 Transportsektorn på Gotland.....	13
2.8.3 Gotlands energisystem.....	14
2.8.4 Pilotområde för energiomställning.....	15
3. Metod.....	17
3.1 Scenarion	17
3.2 Fallstudie över Roma Grus.....	18
3.2.1 Pilotprojektet.....	18
3.2.2 Modellering	19
3.2.3 Teoretisk översatt elförbrukning	22
3.2.4 Kostnads kalkyl.....	23
3.3 Elektrifiering av Gotlands tunga fordon	24
3.3.1 Energibehov	24
3.3.2 Effektbehov.....	25
3.3.3 Utsläpp	25
3.4 Metodkritik	26
4. Resultat och analys	27
4.1 Fallstudie	27
4.1.1 Utvärdering av pilotprojektet.....	27
4.1.2 Modellering	29
4.1.3 Kostnads kalkyl.....	34
4.1.4 Känslighetsanalys.....	36
4.2 Elektrifiering av Gotlands tunga fordon	37
4.2.1 Energibehov	37

4.2.2	Effektbehov	39
4.2.3	Utsläpp	40
5.	Diskussion	42
5.1	Realisering av eldrivna fordon på arbetsplatser	42
5.2	Elektrifiering av Gotlands tunga fordon	44
6.	Slutsatser	46
	Referenser	48
	Appendix A.....	53
	Appendix B.....	54

1. Inledning

Enligt det nationella klimatmålet ska Sverige senast år 2045 vara neutralt i nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären (Sveriges miljömål, u.å.). För att detta ska vara möjligt krävs en omställning av transportsektorn, som i dagsläget står för en tredjedel av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Transportsektorn är kraftigt beroende av fossila bränslen, men det är även den sektor med störst förutsättningar att snabbt ställa om till fossilfritt. För att fasa ut fossila drivmedel krävs en övergång till hållbara förnybara drivmedel, vilket delvis innebär en omfattande elektrifiering av vägtrafiken (Regeringskansliet, u.å.). Andelen eldrivna personbilar har under de senaste åren nått rekordnivåer, och elbilar är på väg att bli konkurrenskraftiga med sina fossildrivna motsvarigheter. Detta har även drivit fram elektrifieringen av tunga fordon, vilket sker snabbare och tidigare än förväntat (Power Circle, 2021).

Tunga transporter står för ungefär 30 procent av växthusgasutsläppen från inrikes transporter (Power Circle, 2021), och förutom att minska dessa utsläpp kan en elektrifiering av tunga lastbilar reducera luftföroreningar och buller, vilket är betydelsefullt i framför allt tätbefolkade områden. Möjligheten att utnyttja el för lastbilar är dock fortfarande begränsad, men marknads- och teknikutvecklingen av tunga fordon visar på en tydlig elektrifiering i framtiden (Trafikverket, 2021a). Under de senaste åren har ett flertal fordonstillverkare lanserat lastbilsmodeller med eldrift, och år 2030 beräknas varannan lastbil som säljs vara eldriven. Regeringen inrättade år 2020 Elektrifieringskommissionen, som har uppgiften att påskynda elektrifieringen av tunga vägtransporter, och under år 2021 och 2022 har de dessutom avsatt ungefär en miljard kr till elektrifieringspiloter. Syftet med dessa pilotprojekt är att demonstrera verklig användning av ellastbilar samt utreda behovet för etablering av laddinfrastruktur för tunga fordon (Power Circle, 2021). Laddningen kommer att medföra ökad belastning på elnätet, vilket gör att det dessutom behövs kartläggningar och åtgärder för att utveckla och bygga ut nätet (Regeringen, 2022).

I uppdrag av regeringen har Energimyndigheten fått ansvaret för att Gotland ska verka som pilotområde för omställningen till ett hållbart energisystem (Energimarknadsinspektionen, 2020). Anledningen till att Gotland har valts ut är främst på grund av öns goda förutsättningar för produktion av förnybar energi, men även att det finns utmaningar för att nå klimatmålen, bland annat gällande elsystemet (Energimyndigheten, 2019). Med finansiering av Energimyndigheten och Tillväxtverket, genomför konsultföretaget Ecoloop projektet ”Elektrifiering av tunga lastbilar genom smart samverkan i energisystemet” på Gotland. Pilotprojektet utförs i samarbete med åkeriet Roma Grus, som under en period har testat en ellastbil i sin verksamhet. Syftet med projektet är att studera och demonstrera eldrivna tunga lastbilstransporter i verklig användning samt optimera energianvändningen genom innovativa lösningar.

För att få förståelse för elektrifieringen av tunga fordon är det därmed relevant att utvärdera pilotprojektets genomförande. Det är dessutom väsentligt att undersöka vilka skillnader en mer omfattande elektrifiering innebär för ett åkeri, där både kostnader och utsläpp avgör vinsten. Ett ökat antal eldrivna fordon kan även påverka det lokala elnätet samt bidra till ökad kapacitetsbrist (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2020), vilket gör det intressant att undersöka hur en elektrifiering i högre grad hade påverkat energisystemet på Gotland. En utredning av energibehovet för elektrifierade transporter är dessutom relevant då Sveriges lokala åkeriförening på Gotland har fått i uppdrag av elnätsägaren Gotlands Energi AB (GEAB) att uppskatta den framtida energiförbrukningen från öns transporter. Då elektrifieringen grundar sig i klimatmålen, är även påverkan på växthusgasutsläppen avgörande för att utreda potentialen av eldrivna tunga transporter.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta examensarbete är att analysera implementeringen av eldrivna lastbilar för tunga transporter på Gotland. Analysen består av två delar. Den första delen avser en fallstudie för åkeriet Roma Grus, vilket inkluderar en utvärdering av Ecoloops pilotprojekt samt en utredning kring en mer omfattande elektrifiering av åkeriets transporter för att få förståelse för hur eldrift kan realiseras på arbetsplatser. I den andra delen undersöks hur en elektrifiering av samtliga tunga transporter på Gotland hade påverkat växthusgasutsläppen samt energi- och effektbehovet. Sammantaget förväntas studien lyfta fram utmaningar med elektrifiering samt jämföra användningen av diesel- respektive eldrivna tunga fordon.

För att undersöka syftet besvaras följande frågeställningar:

- Vilka lärdomar kan dras från Ecoloops pilotprojekt med Roma Grus?
- Hur skulle en elektrifiering av Roma Grus tunga lastbilar påverka verksamheten med avseende på laddbehov, körtider, utsläpp samt kostnader?
- Hur skulle Gotlands energisystem och växthusgasutsläpp påverkas av en mer omfattande elektrifiering av länets tunga transporter?

1.2 Avgränsningar

Ett antal avgränsningar har gjorts för att begränsa studiens omfång. Gotland har valts som studieobjekt eftersom Ecoloops pilotprojekt genomförs där, och på grund av att ön just nu verkar som ett pilotområde för omställningen till ett hållbart energisystem (Energimarknadsinspektionen, 2020).

Vidare har studien avgränsats till att genomföra en fallstudie för endast åkeriet Roma Grus. Till en början var även andra åkerier intressanta för studien för att ge en bredare bild av Gotlands tunga transporter, men i brist på åtkomst till data resulterade det i att Roma Grus valdes ut som enskilt studieobjekt. Modellen som användes för att analysera

en mer omfattande elektrifiering av åkeriets transporter är dock generell och kan likväl appliceras på andra åkerier.

Studien har endast fokuserat på helt eldrivna fordon, och har därmed uteslutit hybridfordon. Vidare har studien avgränsats till fordon försedda med batteri och som laddas stationärt. Andra elektrifieringstekniker, såsom elvägar och bränsleceller, har därmed inte inkluderats. Vid jämförelse av eldrift har dieselfordon använts som referens, eftersom majoriteten av Sveriges, och även Gotlands, tunga transporter drivs med diesel (Naturvårdsverket, u.å, b).

2. Bakgrund

Bakgrundsavsnittet inleds med en överblick kring transportsektorns nationella klimatmål. Därefter ges en beskrivning av Sveriges tunga transporter och utvecklingen av elektrifierade tunga fordon. Vidare förklaras tekniken för laddning av elbilar, vilken laddinfrastruktur som krävs för tunga fordon samt kostnader och lönsamhet med elektrifiering. Dessutom beskrivs pågående elektrifieringspiloter med tunga lastbilar. Slutligen görs en redogörelse över relevanta ämnen specifikt för Gotland på grund av studiens fokus på en elektrifiering av Gotlands tunga transporter.

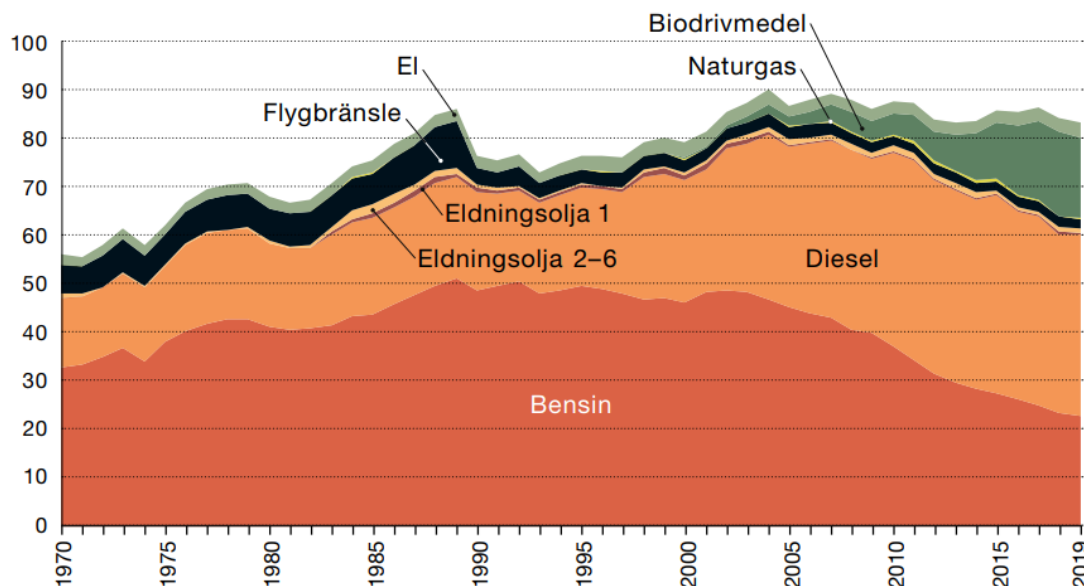
2.1 Utsläpp och mål inom transportsektorn

Trots att utsläppen från den svenska transportsektorn har minskat de senaste åren står inrikes transporter år 2020 för en tredjedel av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser (Naturvårdsverket, u.å, a). Ungefär 90 procent av utsläppen från transportsektorn kommer från vägtrafiken, som fortfarande till största del använder fossila drivmedel. Mängden utsläpp från transporterna varierar beroende på trafikarbetet (hur många km fordon färdas), vilket drivmedel som används och hur bränsleeffektiva fordonen är. Utöver körning bidrar även resten av fordonets livscykel till klimatpåverkande utsläpp. Dessa varierar med avseende på faktorer som materialutvinning, tillverkning, underhåll, återvinning och skrotning av fordonet (Naturvårdsverket, u.å, b).

Enligt klimatmålen för transportsektorn ska växthusgasutsläppen från inrikes transporter senast år 2030 minska med 70 procent jämfört med år 2010, och år 2040 ska hela fordonsflottan vara fossilfri (Power Circle, 2021). År 2020 hade utsläppen från inrikes transporter reducerats med 27 procent, och har nästan årligen minskat sedan den högsta nivån år 2017. Under 2020 minskade den totala mängden utsläpp med 10 procent, vilket främst berodde på minskad biltrafik till följd av Covid-19-pandemin. Utöver detta grundar sig utsläppsminskningen inom transportsektorn på en ökad andel biodrivmedel samt minskad bränsleförbrukning i och med högre energieffektivitet i fordonen (Naturvårdsverket, u.å, a). Utsläppen kan påverkas ytterligare genom att reducera trafikarbetet, energieffektivisera fordonen i ännu högre grad samt minska användningen av fossila drivmedel genom högre andel förnybara drivmedel (Naturvårdsverket, u.å, b).

Energimålet inom transportsektorn har varit att öka transporternas andel förnybar energi till minst 10 procent år 2020, vilket är minimikravet för EU:s medlemsländer (Energimyndigheten, 2022). Ett ökat mål till år 2030 är att andelen förnybara drivmedel ska vara minst 14 procent (Europaparlamentet, 2021). I Sverige uppfylldes målet för år 2020 redan år 2013, och år 2020 steg andelen förnybart inom inrikes transporter till 32 procent (Energimyndigheten, 2022). Även andelen transporter med el som drivmedel har ökat. Figur 1 visar transportsektorns slutgiltiga energianvändning mellan åren 1970 och 2019. Figuren illustrerar hur energianvändningen främst består av bensin och diesel, men att den fossilberoende andelen har minskat under de senaste femton åren i takt med

inblandningen av förnybara drivmedel såsom el och biodrivmedel (Energimyndigheten, 2021b).



Figur 1. Transportsektorns slutgiltiga energianvändning mellan år 1970–2019 (TWh) (Energimyndigheten, 2021b)

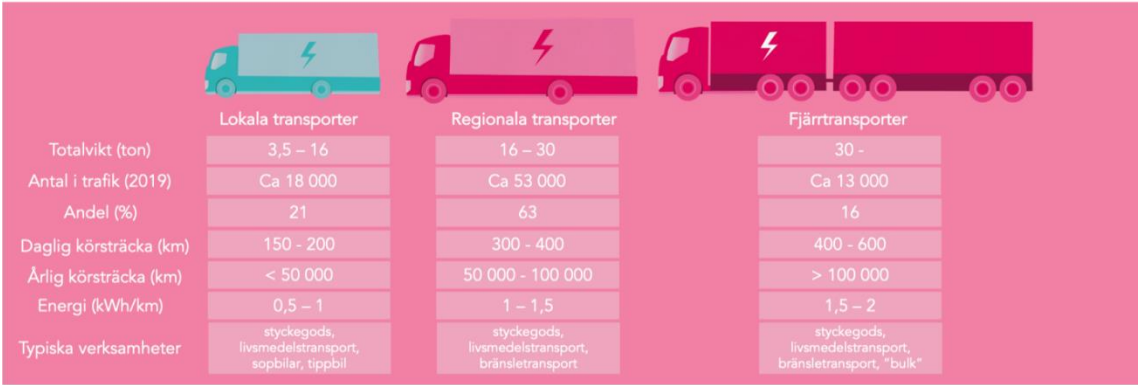
Det finns även specifika målsättningar avsedda för tunga fordon, som står för ungefär 30 procent av växthusgasutsläppen från inrikes transporter (Power Circle, 2021). EU kommissionen beslutade för första gången år 2019 för en lagstiftning gällande klimatpåverkan från lastbilar för att hindra de ökande utsläppen från vägtransporter. Enligt förordningen ska koldioxidutsläppen från nya lastbilar minska med 15 procent till år 2050, och 30 procent till 2030 jämfört med medelnivån i EU 2019. Från och med år 2025 kommer fordonstillverkare dessutom vara ansvariga för att noll- och lågutsläppsfordon ska motsvara minst en marknadsandel på 2 procent av försäljningen av nya fordon (EU, 2019). Kravet gällande utsläpp omfattar till att börja med endast fyra lastbilstyper som står för 60 till 70 procent av utsläppen från tunga lastbilar inom EU. Som en del av EU konventionen har fordonstillverkare även börjat redovisa koldioxidutsläpp och bränsleförbrukning för de vanligaste typerna av nya tunga lastbilsmodeller (Trafikverket, 2021b).

Enligt Trafikverket (2021a) kan en högre andel förnybara drivmedel tillsammans med ellastbilar minska växthusgasutsläppen från tunga fordon med upp till 85 procent till år 2040 jämfört med 2018. Med elektrifiering kan även andra luftföroreningar, inklusive avgaspartiklar, samt buller reduceras, vilket är betydelsefullt i framför allt tätbefolkade områden.

2.2 Tunga transporter

Tunga transporter syftar på lastbilar med en totalvikt som överstiger 3,5 ton. I Sverige finns ungefär 84 000 tunga lastbilar, och enligt Trafikverket (2021a) beräknas antalet öka till 120 000 år 2040. År 2020 var majoriteten av de tunga fordonen dieseldrivna (Naturvårdsverket, u.å, b), och i övrigt används huvudsakligen gas, bensin, el samt etanol (Trafikverket, 2021b).

Tunga lastbilar innefattar lokal-, regional- samt fjärrtransporter, och skiljer sig beroende på fordonsvikt och typisk daglig körsträcka. Cirka 21 procent av lastbilarna är lokala med en daglig körsträcka upp till 200 km, medan 63 procent är regionala lastbilar, som vanligtvis kör 300–400 km dagligen. Fjärrtransporter kör över 400 km och motsvarar endast 16 procent av lastbilarna (Power Circle, 2021). Lastbilarnas totalvikt i förhållande till antal och andel i trafik, daglig och årlig körsträcka, energianvändning för ellastbilar och typiska verksamhetsområden sammanfattas i figur 2.



	Lokala transporter	Regionala transporter	Fjärrtransporter
Totalvikt (ton)	3,5 – 16	16 – 30	30 -
Antal i trafik (2019)	Ca 18 000	Ca 53 000	Ca 13 000
Andel (%)	21	63	16
Daglig körsträcka (km)	150 - 200	300 - 400	400 - 600
Årlig körsträcka (km)	< 50 000	50 000 - 100 000	> 100 000
Energi (kWh/km)	0,5 – 1	1 – 1,5	1,5 – 2
Typiska verksamheter	styckegods, livsmedeltransport, sopbilar, tippbil	styckegods, livsmedeltransport, bränsletransport	styckegods, livsmedeltransport, bränsletransport, "bulk"

Figur 2. Kategorisering av tunga fordon (Power Circle, 2021).

2.3 Elektrifiering av tunga transporter

Utifrån siffror från år 2022 finns det totalt 104 tunga ellastbilar i Sverige (Power Circle, 2022), men antalet förväntas öka inom de kommande åren. I ett faktablad om eldrivna tunga transporter beskriver Power Circle (2021), som är en svensk intresseorganisation med fokus på elektrifiering, att elektrifieringen av tunga fordon sker snabbare och tidigare än förväntat. Då andelen laddbara personbilar ökar samtidigt som batteripriserna sjunker, är elbilar på väg att bli konkurrenskraftiga gentemot sina fossildrivna motsvarigheter, vilket även har drivit fram elektrifieringen av godstransporter (Power Circle, 2021). Marknads- och teknikutvecklingen av tunga fordon visar på en tydlig elektrifiering, och fordonstillverkarna hävdar att nya bilmodeller med eldrift kommer att lanseras varje år (Trafikverket, 2021a). Under de senaste åren har bland annat Scania och Volvo Lastvagnar lanserat eldrivna lastbilsmodeller (Power Circle, 2021), och även andra lastbilstillverkare, som Tesla och Nikola, har presenterat planer på eldrivna tunga fordon (Triplef, 2021). Enligt en

färdplan av BIL Sweden (2020) kommer totalt 50 procent av lastbilarna som säljs år 2030 vara eldrivna.

I början av elektrifieringsprocessen av tunga transporter har fordonstillverkare främst fokuserat på lokala lastbilar, som kör korta sträckor och används för distribution i städer (Power Circle, 2021). Gradvis ska utvecklingen av ellastbilar även inkludera fordon med högre totalvikt och mer utmanande körmönster. Utbudet består i dagsläget främst av lokala ellastbilar med totalvikt under 30 ton, batterikapacitet upp till 400 kWh med räckvidd omkring 200 km. Volvo erbjuder även regionala ellastbilar med totalvikt upp till 44 ton och batterikapacitet på 540 kWh med räckvidd upp till 300 km. I en studie om laddinfrastruktur för tunga fordon har Triplef (2021) sammanställt ett urval av elektriska tunga lastbilsmodeller med batterier som redan finns eller planeras att lanseras på marknaden. Urvalet består av 16 lastbilsmodeller från olika fordonstillverkare. Dessa lastbilar har batterikapaciteter från ungefär 200 till 500 kWh, och en modell av Tesla har ett energilager på 1 000 kWh. Den genomsnittliga batterikapaciteten och räckvidden är ungefär 300 kWh och 250 km (Triplef, 2021). Trots att tunga fordon kräver högre batterikapacitet än personbilar, förväntas ellastbilar endast utgöra 10 procent av det framtida batteribehovet inom vägtrafiken då personbilar beräknas stå för den största delen av behovet (Trafikverket, 2021a).

Enligt statistik för tung lastbilstrafik i Sverige år 2020 sker majoriteten av godstransporterna inom ett län, vilket innebär att det som lastas även lossas inom samma län. Det är även korta sträckor som är vanligast, och över hälften av de lastade transporterna körde kortare än 50 km per dag. Körningar över 300 km motsvarade endast nio procent av alla transporter med last (Trafikanalys, 2021a). Eftersom de allra flesta tunga lastbilar har korta dagliga körsträckor, går det att elektrifiera en stor del av transporterna med de modeller av ellastbilar som redan finns tillgängliga (Power Circle, 2021).

2.4 Laddning av elbilar

Ett laddbart fordon innefattar de elbilar som laddas genom el från elnätet, vilket inkluderar elbilar och laddhybrider men inte elhybrider (Energimyndigheten, 2020). Elhybrider går inte att ladda via uttag, utan laddas istället genom bromskraftåtervinning (Volvo, u.å, b). Det går även att ladda fordonet genom ett batterilager för att inte ladda direkt via elnätet. Ett batterilager kan användas för att öka kapaciteten då elnätet får för hög belastning. När elen inte behövs laddas batteriet upp från elnätet, och laddas sedan ur vid användning (Vattenfall, 2020). Denna studie fokuserar på stationärt laddbara elfordon, där laddningen överförs via en växel- eller likströmsladdare. Laddningen sker antingen genom normalladdning eller snabbladdning, där skillnaden är hur lång tid det tar att ladda upp fordonets batteri. Normalladdning avser längre uppladdning och sker vanligtvis med växelström under nattetid när bilen står parkerad, varav snabbladdning sker under dagen på särskilda snabbladdningsstationer med högre effekt och främst likström (Energimyndigheten, 2020).

Den vanligaste typen av stillastående laddning är kontaktdonsladdning med sladd, vilket innebär att en kontakt behöver anslutas manuellt till fordonet. Det finns ett flertal olika kontakter, och inom EU är det standard att använda Typ 2. Denna typ av laddning är den vanligaste typen för normalladdning i Sverige. Den europeiska standarden för snabbladdning är Combined Charging System (CCS), som sker med likström. Fordon med en CCS-kontakt kan både snabb- och normalladdas (Triplef, 2021).

Laddningens kapacitet kan påverkas av flera faktorer och laddningstiden beror bland annat på hur stort batteriet är, vilken temperatur som omgivningen har och vilken effekt som används (Sweco, 2020). Det optimala är att endast ladda batteriet till 80 procent för att batteriet inte ska ta skada (Grauers, 2020). När batteriet når cirka 80 procent reduceras strömmen, vilket gör att laddningen går betydligt långsammare mellan 80 och 100 procent. Bilprodukter är vanligtvis designade för att hålla upp till 10–12 år, men beroende på hur batteriet används kan livslängden påverkas. För höga spänningsnivåer vid laddning, för höga eller låga temperaturer vid drift och hur ofta batteriet laddas upp, kan medföra att batteriets livslängd försämras (Hayes et al, 2018).

Innan batteriet för en ellastbilen dimensioneras bör fordonets dagliga energiförbrukning analyseras för att basera batterikapaciteten på medelförbrukningen. Detta medför att batteriet kan utnyttjas maximalt och att stödladdning publikt minimeras. Dessutom är det bra att ta hänsyn till vikten på batteriet, som ökar med högre kapacitet, och innebär därmed reducerad lastkapacitet för fordonet (Triplef, 2021).

2.5 Laddinfrastruktur för tunga transporter

Utvecklingen av infrastruktur för laddning av elbilar har hittills fokuserat på personbilar, och idag finns både publika laddstationer samt möjlighet för privat installation av laddutrustning. I Sverige finns över 12 200 publika laddpunkter anpassade för personbilar. Gällande tunga fordon är laddinfrastrukturen för eldrivna bussar mest etablerad (Triplef, 2021). Laddinfrastrukturen för tunga lastbilar är däremot inte lika utvecklad, och kräver troligen mer komplexa lösningar än för elektrifierade stadsbussar och personbilar. Eftersom tyngre fordon i flesta fall innebär godstransporter, är ofta avstånden längre och deras scheman är inte lika förutbestämda som för en linjebuss. Detta gör att det blir svårare att planera när och var lastbilen behöver ladda. Ett tätt nätverk av laddstationer blir därför viktigt för att kunna transportera längre sträckor med förhållandevis liten batterivikt för att bibehålla lastförmågan (Sweco, 2020).

Det finns tre olika typer av stationär laddning för tunga fordon. Antingen kan laddningen ske privat på depå, semi-publikt (där lastbilen lastar gods av och på, såsom vid hamnar eller godsterminaler) eller publikt längs vägen. För kortare körsträckor kan laddning via depå räcka för en hel dag, men för regionala distributioner kan batteriet behöva semi-publik eller publik laddning (Power Circle, 2021). Eftersom en stor andel av lastbilarna står still en lång tid under dagen, hade det varit optimalt att utnyttja den tiden för stödladdning eftersom laddningen därmed inte kräver extra arbetstid

(Trafikverket, 2021a). Enligt en undersökning av BIL Sweden kommer 80 procent av laddningen ske under depåer med en låg effekt på 22–50 kW (Power Circle, 2021). Depåladdning har dessutom antagits vara den laddning som har lägst kostnad, vilket innebär att det bör finnas incitament hos åkerier som aktörsgrupp att se till att så stor andel som möjligt av energiförsörjningen sker hos den egna verksamheten (Trafikverket, 2021a). Utöver depåer förväntas cirka 15 procent av laddningen ske på semi-publika laddstationer med en högre effekt på 150 kW. För längre fjärrtransporter krävs publik laddning längs vägnätet, där fem procent av laddningen förväntas ske med effekter över 350 kW. I den närmaste framtiden är det framför allt laddning via depå och semi-publik laddning som måste utvecklas först, då lokala och regionala transporter kommer elektrifieras först (Power Circle, 2021).

Utbyggnaden av laddstolpar för lastbilar har påbörjats men avser i princip endast lätta lastbilar (BIL Sweden, 2020). Sveriges första publika snabbaddare för tunga lastbilar installerades år 2019 i Göteborg, med en effekt på 175 kW och var anpassad för lastbilar upp till 10 meter (Nyteknik, 2019). Enligt Trafikverket (2021a) borde det varken finnas tekniska eller rättsliga hinder för att kunna bygga ut laddinfrastrukturen ytterligare, men i dagsläget finns det endast ett fåtal publika laddstationer för tunga fordon (Power Circle, 2021). Bristen på stationär laddning utgör därför ett hinder för elektrifieringen av tunga transporter (Trafikverket, 2021a). Det behövs en snabb utveckling av laddstationer för tunga fordon och för att möjliggöra detta har regeringens Elektrifieringskommission fokuserat på att undersöka behovet av laddstationer inom de mest trafikerade områdena i landet (Regeringen, 2020). I en analys av Europas största branschorganisation inom bilindustrin, ACEA (2021), uppskattas 350 publika och semi-publika laddpunkter finnas i bruk i Sverige år 2025 och över 1 000 år 2030. Scania har gjort bedömningen att det i framtiden kommer att krävas drygt 1 000 publika laddpunkter för att elektrifiera hela Sveriges lastbilsflotta (Zakrisson, 2021). Detta går att jämföra med Trafikverkets (2021a) scenarioanalys, som menar att antalet tunga ellastbilar kommer öka till över 70 000 fordon år 2040, vilket kommer kräva lika många depåaddare samt 5 000 – 14 000 semipublika laddare och 3 000 – 6 000 publika.

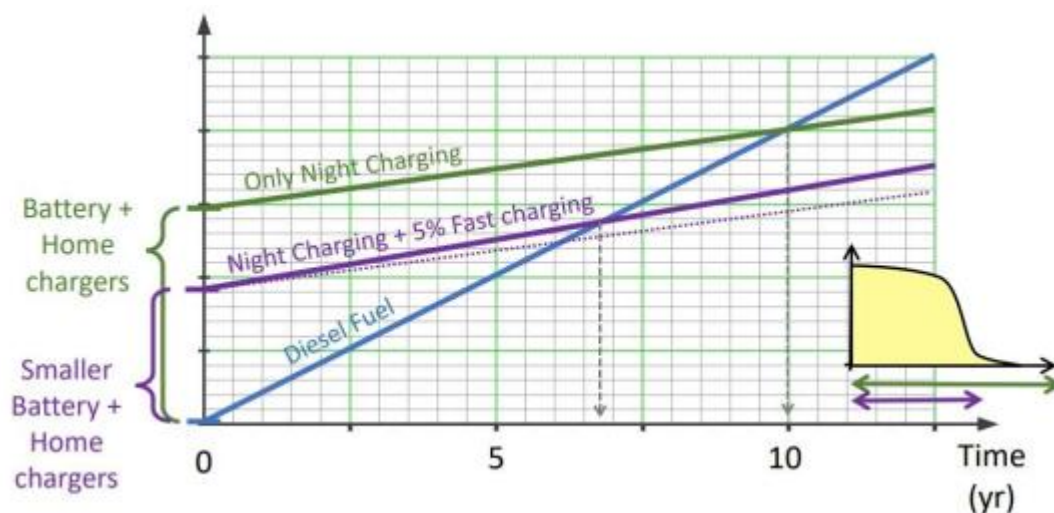
Utifrån behovet av laddare uppstår även frågor kring hur elnätet hade klarat av denna omställning. Elektrifieringskommissionen har därmed även undersökt förutsättningarna för nätanslutning av laddningspunkter. Kartläggningen visar att kapaciteten i elnätet är förhållandevis god i landet, men för att möta behoven krävs både förstärkning och utbyggnad av elnäten på flera ställen (Regeringen, 2022).

2.6 Kostnader och lönsamhet

I dagsläget är ellastbilar dyrare än bränsledrivna lastbilar, både gällande inköpspris och bilens totala livscykelkostnad (Power Circle, 2021). Enligt analyser kommer dock kostnaderna för en ellastbil att minska inom de närmsta åren, och enligt Transport & Environment (2021) kommer ellastbilar nå samma nivå gällande livscykelkostnad som deras konventionella motsvarigheter redan under mitten på 2020-talet. Lönsamheten för

en ellastbil kommer delvis öka på grund av ökad reduktionsplikt, som hjälper till att driva upp drivmedelspriserna (Trafikverket, 2021a). Reduktionsplikt är det huvudsakliga styrmedlet som staten använder för utfasningen av fossila bränslen, och innebär att drivmedelsleverantörer behöver sänka sina växthusgasutsläpp från diesel, bensin och flygfotogen med en viss procentsats. Senaste ökningen skedde år 2021 och innebär en reduktionsökning till 26 procent för diesel (Energimyndigheten, 2021c).

På längre sikt beräknas den sammanlagda kostnaden för batteri, laddinfrastruktur och elförbrukning sjunka under 4 kr/kWh för en ellastbil, vilket gör kostnaden lägre än för diesellastbilar. Detta gäller dock för lastbilar med ungefär samma körsträcka dagligen, och som kan laddas hemma vid depån (Triplef, 2021). Kostnadsutvecklingen beror på hur stor del av laddningen som sker publikt och semi-publikt, vilket presenteras i figur 3, där y-axeln motsvarar kostnaden.



Figur 3. Kostnadsutveckling för ellastbilar jämfört med diesellastbilar (Grauers, 2020).

Figur 3 visar på att det är fördelaktigt kostnadsmässigt att komplettera nattladdning på depån med en del snabbladdning under dagen, eftersom fordonets batterikapacitet då kan vara lägre. Om ellastbilen endast laddas under natten, skulle det ta cirka 10 år innan kostnaderna kan likställas med en diesellastbil eftersom detta kräver ett större batteri. Om endast fem procent av laddningen istället skulle ske med snabbladdning kan tiden till kostnadsparitet sänkas till ungefär sju år.

Kostnaden för en stationärt laddad ellastbil inkluderar investering av batteri, elkomponenter, motorkomponenter samt prispåslag från fordonstillverkaren (Triplef, 2021). Det är främst batteriet och andra tekniska aspekter som driver upp kostnaderna för en ellastbil, utöver indirekta kostnader till följd av förändrade körmönster jämfört med en konventionell lastbil (Power Circle, 2021). Kostnaden för laddning beror på huruvida lastbilen laddas vid depån, semi-publikt eller publikt. Laddning via depå är betydligt billigare eftersom priset för semi-publikt och publik laddning inkluderar vinst till ägaren av laddstationen, dock beror även priset mycket på utnyttjandegraden av laddaren (Triplef, 2021).

Enligt en studie av Karlström (2020) landar kostnaden för en icke-publik laddningspunkt på ca 2 000 kr/kW för växelström och ca 4 000–6 000 kr/kW för likström. Utöver laddaren tillkommer kostnader för elnätsanslutning, kabelskåp och entreprenadarbete på kundens tomt (Trafikverket, 2021a). Dessa kostnader är fasta, vilket gör nyttjandet av laddaren till en viktig faktor för kostnadseffektivitet. Utnyttjandegraden bör vara minst 10 procent, vilket motsvarar 2,5 timmar laddning med full effekt varje dygn (Triplef, 2021).

Oavsett om utnyttjandegraden höjs behöver kostnaderna minska ytterligare för att en elektrifiering av tunga transporter ska vara möjlig. Detta kräver troligen både investeringsstöd för inköp av fordonet samt investerings- och driftstöd för laddinfrastrukturen under flera år (Power Circle, 2021). Enligt Trafikverket (2021a) indikerar beräkningar att en ellastbil kommer att behöva 350 000 kr i investeringsstöd år 2030, och totalt behövs det 6.5 miljarder kronor i samlat statligt stöd fram till år 2030 för att eldrivna transporter ska nå kostnadsneutralitet jämfört med diesel. I dagsläget finns det en klimatpremie, som ger upp till 20 procent av inköpspriset som stöd vid köp av en tung ellastbil. Totalt finns 120 miljoner kronor avsatta till stödet men detta inkluderar även elektriska bussar samt arbetsmaskiner (Power Circle, 2021). Det finns även statligt stöd för utbyggnaden av laddinfrastruktur genom Klimatklivet, som ersätter upp till 50 procent av investeringskostnaden, och ansökan kan göras för både publika och icke-publika laddstationer, där andelen ersättning påverkas av företagets storlek (Regeringen, 2021). Samtidigt har regeringen år 2022 valt att avsätta 550 miljoner kronor i syfte att skynda på omställningen av elektrifierade tunga transporter. Stödet ger aktörer möjlighet att bygga laddinfrastruktur och tankstationer till vätgas, och är tänkt att täcka hela investeringskostnaden (Regeringskansliet, 2022).

2.7 Aktuella pilotprojekt i Sverige

I Sverige pågår just nu ett flertal pilotprojekt med ellastbilar, och regeringen har avsatt över en miljard kronor till regionala elektrifieringsprojekt under år 2021 och 2022 (Power Circle, 2021). Bland annat testas två regionala transporter i projektet REEL, som är ett samarbete mellan ett flertal svenska aktörer med syftet att accelerera omställningen till eldrivna tunga transporter. Livsmedelsföretaget Oatly använder även fyra ellastbilar från Einride för två av sina distributionssträckor.

Det finns även projekt som innefattar testning av ellastbilar i norra Sverige, där det kalla klimatet medför ytterligare utmaningar. I Pajala pågår ett pilotprojekt där Kaunis Iron använder en ellastbil från Volvo Lastvagnar i sin verksamhet med syftet att utveckla en elektrifierad fossilfri gruvdrift. Piloten ska även kunna hjälpa företagen att utvärdera hur lastbilens effektivitet och utsläpp påverkas av extrem kyla (Vattenfall, 2021). Även kemileverantören Wibax testar en ellastbil i kallare klimat för leveranser mellan Piteå och Skellefteå. Projektet är ett samarbete mellan Wibax och Scania, där parterna vill optimera användningen av fordonet med avseende på laddning, batteriets livslängd samt ruttplanering (Scania, 2021a).

Ett annat projekt är Dencity, som utvecklar lösningar för hållbara person- och godstransporter i tätastäder. Inom projektet har en ellastbil från Volvo testats sedan 2019 av åkeriföretaget TGM för att genom DB Schenker köra transporter åt Coop i Göteborg. Lastbilens batteri avser totalt 150 kWh, och en vikt på 1 500 kg. Fordonet laddas främst under natten på DB Schenkers terminal men kan även snabbaddas på 30–40 minuter vid behov. Föraren har varit väldigt nöjd med lastbilen eftersom han anser att den är väldigt bekväm och framför allt tyst. Det har inte heller varit några större tekniska problem med fordonet eller ytterligare service jämfört med en diesellastbil. Laddningen har fungerat bra och snabbaddning har inte behövts utnyttjas särskilt mycket. TGM påpekar dock att detta endast gäller laddning av ett fordon, och att det finns en oro bland åkerier om hur det kommer att fungera med flera ellastbilar. Dessutom har det tagit flera dagar att åtgärda fel på snabbaddningsstationer, och då det endast har funnits två i Göteborg har detta medfört problem för projektets ellastbil. I övrigt förklarar TGM att användningen av ellastbilen har inneburit anpassning av körmönstret på grund av fordonets begränsade räckvidd på ungefär 12 mil (Triplef, 2021).

Utöver pilotprojektet på Gotland, leder Ecoloop ett annat projekt inom elektrifiering av tunga transporter. I projektet “Med utsikt från förarplatsen”, testas en ellastbil av Bygglogistikcentret i Norra Djurgårdsstaden. Fordonet har en batterikapacitet på 320 kWh, och har laddats med en kombination av direkt anslutning till elnätet och ett batterilager med sammanlagt 80 kW laddeffekt. Då transporterna med ellastbilen endast innefattar körningar i området har räckvidden och laddningsmöjligheten varit tillräcklig, och anpassningen till eldrift har därmed varit problemfri. Föraren av fordonet är positivt inställd till elektrifieringen, och ser bara fördelar med omställningen till eldrift. Ellastbilen har inte krävt någon service under testperioden och det har inte heller uppstått några större tekniska problem gällande tekniken. Lastbilen har bidragit till både tystare och smidigare körningar. Dessutom påpekade föraren på Bygglogistikcentret även fördelen med att slippa utsättas för avgaser vid lastning (Johansson et al, 2022).

2.8 Gotland

I detta avsnitt presenteras Gotlands utsläpp och klimatmål, den nuvarande transportsektorn och energisystemet på ön samt Gotlands roll som pilotområde för energiomställningen, inkluderat Ecoloops pilotprojekt.

2.8.1 Utsläpp och klimatmål

Trots att Gotland är ett litet län, står ön för en förhållandevis stor andel av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2018). Utsläppen uppgick år 2019 till ungefär 2,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarar cirka fyra procent av de nationella utsläppen. Utsläppen på Gotland kommer främst från industrisektorn, som utgör ungefär 1,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Även jordbrukssektorn står för en stor del av utsläppen (Sveriges miljömål, u.å.). År 2019 stod

transportsektorn för åtta procent av växthusgasutsläppen inom länet, varav nio procent kom från tunga transporter (SMHI, u.å).

Om det nationella klimatmålen regionaliseras behöver Gotland minska de totala växthusgasutsläppen inom länet med 34 procent till år 2030 och 70 procent till 2045 jämfört med utsläppen 1990. Detta skulle innebära en minskning med 5,5 procent per år, vilket är den lägsta minskningstakten jämfört med resten av Sverige (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2019). Mellan år 1990 och 2019 har utsläppen totalt reducerats med tre procent. För att ytterligare minska utsläppen har Region Gotland tagit fram en koldioxidbudget, som innebär att energirelaterade koldioxidutsläpp inom länet bör minska med 16 procent per år fram till år 2040. Anledningen till att koldioxidbudgeten avser en snabbare reduktion än de regionaliserade klimatmålen är att nationella bedömningar antar att de största källorna till växthusgasutsläpp (industrin och jordbruket) delvis kommer att återstå även år 2045. Koldioxidbudgeten grundar sig däremot i att Parisavtalets mål ska nås (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2019).

Det regionala målet för transportsektorn på Gotland innebär en reduktion av utsläppen med 72 procent fram till år 2030 jämfört med 1990 (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2019), då utsläppen låg på 156 000 ton (SMHI, u.å). Utsläppen från inrikes transporter inom länet har därefter ökat fram till 2010, och har sedan dess minskat med totalt 18 procent. År 2019 uppgick utsläppen till 180 000 ton koldioxidekvivalenter, inklusive 15 000 ton från tunga lastbilar (SMHI, u.å). För att nå klimatmålen krävs därmed en reduktion med ungefär 77 procent från nivån år 2019. Detta kommer att kräva både övergång till förnybara drivmedel samt att det totala energibehovet för transportsektorn minskar. Energianvändningen för inrikes transporter på Gotland var 634 GWh år 2015, och andelen förnybart var endast nio procent, vilket både innefattar förnybara bränslen och el (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2018). En energiomställning av transportsektorn är därmed en väsentlig del i den regionala energi- och klimatstrategin för att utveckla länet i önskvärd riktning (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2020).

2.8.2 Transportsektorn på Gotland

Transportsektorn på Gotland är en av de största utmaningarna för öns energiomställning. Bilen är ett måste för många på den glesbefolkade ön, och jämfört med resten av Sverige har Gotland flest personbilar per invånare (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2018). Dock är avstånden begränsade, vilket ger förhållandevis bra förutsättningar för en elektrifiering av fordonen (Länsstyrelsen i Gotland, 2020). Ändå är antalet elbilar färre än vad Sverige har i genomsnitt. De laddbara fordonen utgör endast 0,4 procent av öns fordonsflotta, och det finns ett 50-tal destinationsladdare (Energimyndigheten, 2019). Det finns även fem snabbladdningsstationer med 50 kW likström (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2018). Anledningen till att det endast finns ett fåtal elbilar beror framför allt på att det är ont om incitament samt brister i teknik, politik, juridik och marknad. För att främja ett fossilfritt transportsystem krävs det därför åtgärder genom exempelvis demonstration av fordon, ökad tillförsel av drivmedel

och regelutveckling inom bland annat elmarknad och förnybara drivmedel (Energimyndigheten, 2019).

Eftersom Gotland saknar järnväg sker godstransporterna inom länet med lastbil, och då det är en ö körs inga transporter genom länet utan att lastas eller lossas. Majoriteten av det som lastas på Gotland lastas även av inom Gotland (Regionförbundet Örebro, 2013). I dagsläget drivs 97 procent av Gotlands tunga lastbilarna på diesel, och ett fåtal med bensin eller gas (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2020). De viktigaste logistikområdena är hamnen och flygplatsen i Visby, samt andra större hamnar runt ön där mycket gods anländer och avgår. Utifrån trafikflöden är länsväg 140, 143, 147 och 148 mest trafikerade av tunga fordon. Samtliga vägar utgår från Visby och sträcker sig mot olika delar av ön. (Regionförbundet Örebro, 2013).

Gällande omställningen till förnybara drivmedel, är övergång till el och biogas högst upp i prioriteringsordningen (Vattenfall, 2018). Etableringen av ny laddinfrastruktur för elfordon är därmed avgörande för att ställa om fordonsflottan (Länsstyrelsen i Gotland, 2020). Enligt Vattenfall (2018) förväntas antalet elbilar på ön motsvara upp till 30 procent av fordonsflottan år 2035. Eftersom elförbrukningen för eldrivna personbilar är låg, skulle detta bara kräva cirka 30 GWh per år, vilket motsvarar 3 procent av Gotlands totala elanvändning. Effektbehovet skulle dock vara ett problem om många skulle ladda bilen samtidigt med hög effekt (Vattenfall, 2018).

2.8.3 Gotlands energisystem

Gotlands elnät är kopplat till fastlandet genom en högspänd likströmsförbindelse via två elkablar. På grund av driftssäkerhetsskäl och för att anläggningarna ska skyddas, är överföringskapaciteten för export och import cirka 260 MW och maxuttaget cirka 180 MW (Energimarknadsinspektionen, 2020). När förbindelsen först etablerades på 1980-talet användes kablarna bara för import, då ön hade väldigt liten egen elproduktion. I takt med utbyggnaden av vindkraft har dock den förnybara elproduktionen snabbt ökat vilket har gjort att Gotland under bra förutsättningar exporterar sin el (Vattenfall, 2018). Den årliga elanvändningen på Gotland är cirka 900 GWh (Statistiska Centralbyrån, 2021) och av det är 500 GWh från länets egen elproduktion (Sweco, 2020).

Gotlands installerade produktionskapacitet på 170 MW består mestadels av vindkraft. Regionen uppskattar stor potential gällande vindkraften, och menar att en utbyggnad motsvarande 1000 MW är möjlig. Under de kommande åren planeras Sveriges elförsörjning baseras på mindre andel kärnkraft, och mer förnybar energi då framför allt vindkraften planeras att byggas ut, vilket kommer att bidra till att nettoexporten av el för Gotland kommer att öka (Sweco, 2020). I en översiktsplan för Gotlands kommun är målsättningen för vindkraft en årsproduktion på 2,5 TWh. Det saknas dock kapacitet för att mata in ny produktion vilket försvårar utbyggnadsprocessen (Energimarknadsinspektionen, 2020).

För ett väl fungerande elnät måste användningen och produktionen av el vara likvärdigt, under varje tidpunkt dygnet runt. Om förmågan att ta emot effekt inte är tillräcklig för att tillgodose behovet i en anslutningspunkt råder kapacitetsbrist i elnätet. En ökad elektrifiering av transporter pekas ut som en av de största anledningarna till att elanvändningen kommer att öka i framtiden (Sweco, 2020). Gotland har i dagsläget tillräckligt med kapacitet för att förse öns behov, men på längre sikt kan dock kapacitetsbrist bli ett problem. Om industriverksamheten Cementa skulle genomföra sina planer om elektrifiering skulle en ytterligare last på 260 MW adderas till nätet, och en sådan stor omställning skulle varken öns fördelningsnät eller den kabelanslutna landförbindelsen klara av (Energimarknadsinspektionen, 2020). På grund av den ökade efterfrågan av el från industri och den förväntade utbyggnaden av vindkraft, har Svenska Kraftnät (2021) bedömt att det krävs en nätutredning för att identifiera den bästa tekniska lösningen för öns elförsörjning. Utredningen förväntas färdigställas inom 10 år. Tidigare fanns det förslag om att etablera en ytterligare kabel med förbindelse till fastlandet för att Gotland inte skulle begränsas av kapaciteten, men förslaget avslogs år 2017 (Vattenfall, 2018).

En större andel eldrivna fordon och etablering av ny laddinfrastruktur på Gotland kan påverka det lokala elnätet samt bidra till ökad kapacitetsbrist, vilket gör den lokala elnätsägaren GEAB till en betydande aktör i elektrifieringsprocessen. Utöver laddinfrastruktur, behöver elnätet utvecklas och förstärkas genom bland annat nya nätstationer. Utvecklingen av laddinfrastruktur kan även komma att kräva lastbalansering för att elnätet inte ska överbelastas. Detta innebär att laddningen fördelas över tid för att jämna ut effekttoppar samt elförbrukningen om många fordon laddar samtidigt (Länsstyrelsen i Gotland, 2020).

För att utveckla elnätet behövs utredningar kring både elnätet och det framtida behovet från transportsektorn. Ett relevant utvecklingsområde är så kallade vehicle-to-grid (V2G) fordon, vilket är eldrivna fordon där batteriet fungerar som ett energilagring och som kan utnyttjas för att avlasta elnätet genom att minska effekttoppar. Genom att implementera dessa fordon på Gotland kan användningen av den lokalt producerade energin öka, medan importen och exporten minskar. Utveckling av denna teknik kan troligen både underlätta elektrifieringen av transportsektorn på ön samt förbättra leveranssäkerheten av el, men det är fortfarande oklart hur snabbt utvecklingen av V2G-fordon kan gå (Länsstyrelsen i Gotland, 2020).

2.8.4 Pilotområde för energiomställning

I uppdrag av regeringen har Energimyndigheten fått ansvaret för att Gotland ska verka som pilotområde för energiomställningen (Energimarknadsinspektionen, 2020). Syftet är att Gotland ska visa vägen i omställningen för ett hållbart energisystem (Länsstyrelsen i Gotland, 2020). Detta innebär att åtgärder ska redovisas vartannat år och ska motivera att det går att nå det klimat- och energipolitiska målen Sverige har satt. Ön har valts ut som pilotområde eftersom den har goda förutsättningar för att producera

förnybar energi men även för att Gotland står inför utmaningar för att nå klimatmålen (Energimyndigheten, 2019).

Som pilotområde sker nu flera projekt på Gotland, varav projektet “Hållbara transporter” startades år 2018. Arbetet har varit ett samarbete mellan Länsstyrelsen i Gotlands län och Region Gotland, med syftet att öka hållbart resande samt hållbara transporter på ön genom att hjälpa de gotländska transportföretagen att utveckla ett mer energieffektivt arbete och byta till förnybara drivmedel. En lärdom från projektet var att det finns kulturella utmaningar mellan transportaktörer och de som är beställare av transporterna, och för det krävs en bättre brygga och förståelse mellan dessa, vilket projektet har kunnat bidra med (Länsstyrelsen Gotlands län, u.å).

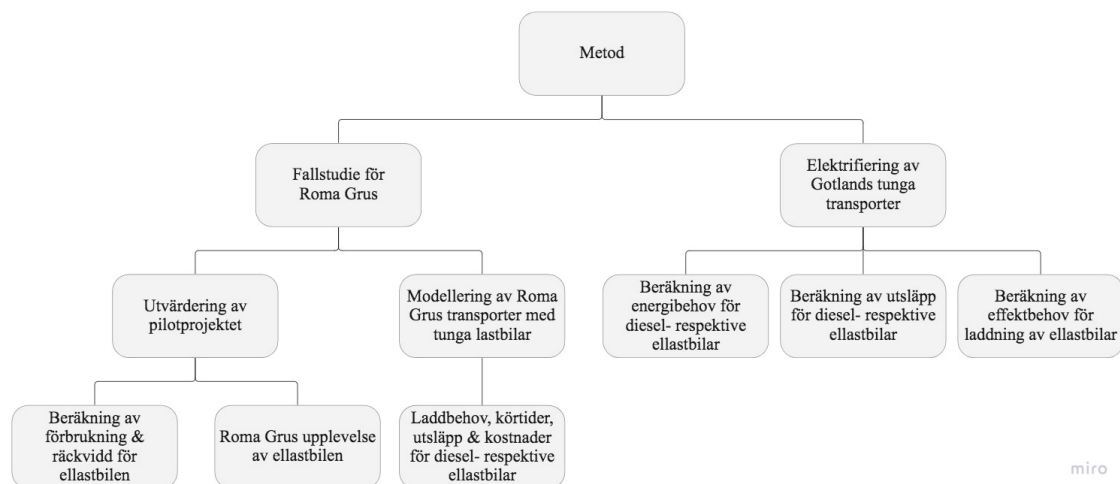
Ett annat projekt, som även är studiens undersökningsobjekt, är pilotprojektet “Elektrifiering av tunga lastbilar genom smart samverkan i energisystemet”. Projektet genomförs av konsultföretaget Ecoloop i samarbete med åkeriet Roma Grus, Vattenfall Services Nordic och Volvo Lastvagnar, med finansiering av Energimyndigheten och Tillväxtverket. Syftet är att studera och demonstrera eldrivna tunga lastbilstransporter i verklig användning och optimera energianvändningen genom innovativa lösningar. Projektet startade i maj 2021 och avslutas i juni 2022. I projektet har Roma Grus under cirka två månader, från mitten av januari 2022, använt en ellastbil från Volvo Lastvagnar som en del av den dagliga verksamheten. Lastbilen är en Volvo FE Electric med batterikapaciteten på 200 kWh och totalvikt på 27 ton, varav maxlastvikten är 15 ton. Laddning av lastbilen har möjliggjorts med ett mobilt batterilager från Vattenfall med en laddeffekt på 50 kW. I figur 4 visas lastbilen tillsammans med batterilagret, som ställts hos Volvo i Visby.



Figur 4. Pilotprojektets ellastbil och batterilager hos Volvo i Visby.

3. Metod

För att undersöka potentialen av en elektrifiering av tunga transporter grundar sig denna studie dels på en fallstudie för åkeriet Roma Grus och dels på en analys av en omfattande elektrifiering av tunga transporter på Gotland. En översikt av metoden presenteras i figur 5. I detta kapitel förklaras först antagna scenarier som tillämpats i båda analyserna, och därefter beskrivs tillvägagångssättet för fallstudien samt undersökningen av elektrifieringen av Gotlands tunga transporter.



Figur 5. Översikt av metoden.

3.1 Scenarion

För studiens beräkningar har tre scenarier ställts upp där batterikapaciteten för en ellastbil och laddeffekt för snabbaddning varierar. Scenarierna tillämpades för att undersöka vilken batterikapacitet och laddeffekt som krävs för en elektrifiering. En sammanställning för de olika scenarierna redovisas i tabell 1. Laddeffekt för laddning på depå valdes till 50 kW för samtliga scenarier då detta motsvarar den förväntade effekten anpassad för normalladdning av tunga fordon (Power Circle, 2021), och det var även denna effekt som användes för att ladda lastbilen i Ecoloops pilotprojekt.

Tabell 1. Parametrar för scenarion.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Batterikapacitet	200 kWh	375 kWh	500 kWh
Effekt snabbaddning	150 kW	350 kW	1 MW
Effekt depåaddning	50 kW	50 kW	50 kW

Scenario 1 motsvarar förutsättningarna för pilotprojektets ellastbil, som har en batterikapacitet på 200 kWh och som var tänkt att förses med snabbaddning på 150

kW. Då dessa värden är förhållandevis låga i jämförelse med vad som antas vara nödvändigt för elektrifiering i högre grad, utgör Scenario 2 och 3 högre värden (BIL Sweden, 2020). Dessutom finns det redan både högre batterikapacitet och laddeffekt att tillgå (Volvo, u.å, a; Scania, 2021b). Scenario 2 är baserat på en rapport av Trafikverket (2021a), som utrett behovet av laddinfrastruktur för tunga fordon. I studien användes 350 kWh som batterikapacitet för regionala lastbilar och 350 kW som laddeffekt för semi-publik snabbbladdning. Scenario 3 grundar sig i en färdplan av Fossilfritt Sverige (2020), där det framgår att en batterikapacitet på 500 kWh är nödvändig för att motsvara 4,5 timmar körning, vilket motsvarar en sträcka på cirka 300–400 km. Laddeffekt för snabbbladdning valdes till 1 MW, då detta enligt Power Circle (2021) anses vara effekten som krävs för att möjliggöra snabbbladdning av lastbilar under ordinarie vilotider. Laddeffekt i denna grad finns dock inte att tillgå i dagsläget, och utvecklingen styrs både av hur mycket CCS-uttagen (europeisk standard för uttag vid högre effekter) klarar av att tillföra och hur stor laddeffekt bilmodellerna kan ta emot (Power Circle, 2021).

3.2 Fallstudie över Roma Grus

Första delen av fallstudien för Roma Grus avser en utvärdering av Ecoloops pilotprojekt för att se vilka lärdomar som dras, där utvärderingen innefattar en beräkning av ellastbilens förbrukning och räckvidd samt genomförda intervjuer. Dessutom jämförs användningen av eldrivna motsvarigheter med åkeriets dieselfordon genom en egenutvecklad modell. Modellen beskrivs utförligt i fallstudiens andra del, och innefattar beräkning och analys kring bränsleförbrukning, laddbehov, körtid och utsläpp. Slutligen beskrivs den kostnadskalkyl som genomförts utifrån modellens resultat.

3.2.1 Pilotprojektet

Åkeriet Roma Grus har fått möjligheten att testköra en ellastbil från Volvo Lastvagnar under cirka två månaders tid. För att kunna utvärdera dess användning har huvudfokuset för denna studie varit att både få in verksamhetens upplevelser av fordonet och beräkna den verkliga energiförbrukning samt räckvidden. Verksamhetens upplevelser har fångats upp genom möten med en kontaktperson på Roma Grus. Utöver detta genomfördes även en semistrukturerad intervju med föraren av ellastbilen i samband med ett platsbesök i Visby. Intervjun cirkulerade kring förarens upplevelse av ellastbilen samt hur fordonet har anpassats till verksamheten.

Vid beräkning av ellastbilens elförbrukning och räckvidd användes kombinerad data från körloggar som fyllts i av föraren, och data från Volvo Connect, som är Volvo Lastvagnars gränssnitt för digitala tjänster (Volvo Lastvagnar, u.å). Både körloggarna och datat från Volvo Connect innefattar klockslag, mätarställning och batterinivå vid start och slut för olika körningar. Sammanlagt innefattar datat 36 körningar under perioden från 10 januari till 23 februari 2022.

Elförbrukningen beräknades för varje körning genom ekvationen

$$f_{el} = \frac{(b_{start} - b_{slut}) \cdot k}{l} \text{ (kWh/km)} \quad (1)$$

där b_{start} är batterinivå innan körning och b_{slut} är batterinivå efter körning (%), k är batterikapacitet (kWh) och l är sträckan (km). Detta sammanställdes slutligen som en genomsnittlig elförbrukning.

Elförbrukningen uppskattades även per transportarbete, vilket anges i tonkm. Begreppet transportarbete används i sammanhang gällande godstransporter där en tonkm beskriver en förflyttning av ett ton gods en kilometer (Trafikanalys, 2021b). Beräkningen är baserad på den genomsnittliga elförbrukningen per km och fordonets maxlastvikt enligt ekvationen

$$f_{t,el} = \frac{f_{el}}{0.5 \cdot m_{last}} \text{ (kWh/tonkm)} \quad (2)$$

där f_{el} är den genomsnittliga förbrukningen (kWh/km) och m_{last} är maxlasten (ton). Beräkningen baserades därmed på ett antagande att lastbilen kör med full last halva sträckan och utan last andra halvan.

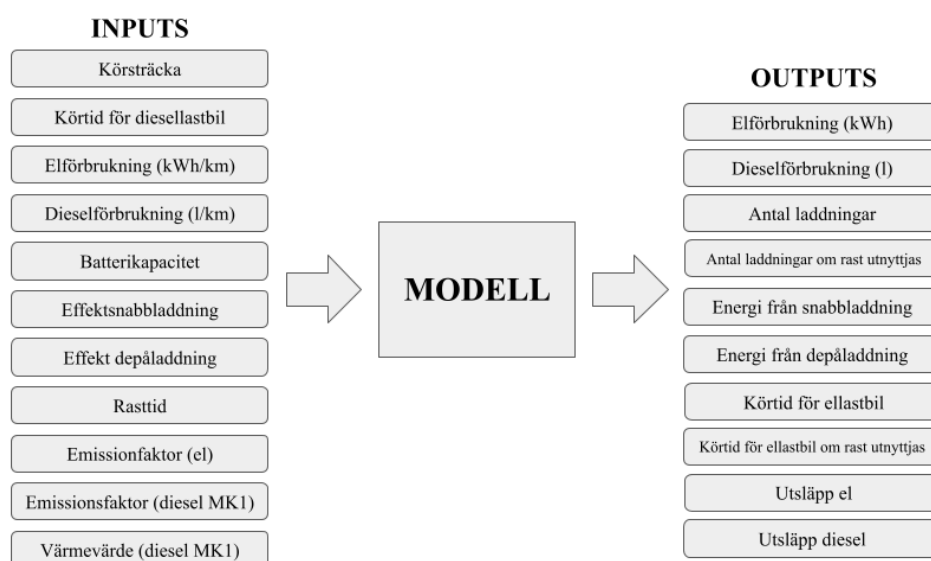
3.2.2 Modellering

För att jämföra användningen av en diesel- och ellastbil i Roma Grus verksamhet skapades en modell i MATLAB för att simulera körningar med ellastbilar under ett år. Då det inte funnits årlig data för åkeriets alla fordon, är modelleringen avgränsad till 10 tunga diesellastbilar ur Roma Grus fordonsflotta. Data som användes är för respektive lastbil, vilket hämtades från programvaran Webfleet, som åkeriet använder sig av för fordonsspårning och vagnparkshantering. Datat består av dagliga körsträckor som fordonen kört under år 2021 och sammanlagt användes 2378 körsträckor i modellen. För varje körsträcka finns tillhörande körtid, genomsnittlig dieselförbrukning (l/km) samt total dieselförbrukning (l). Från samma data hämtades även bortkastat bränsle för respektive sträcka som uppkom i samband med tomgångskörning.

Modellen simulerar körning med en ellastbil och beräknar antalet laddningar och laddningstiden som ellastbilen kräver för att genomföra körningen. Modellen beräknar även energiförbrukningen och växthusgasutsläppen för både en el- och diesellastbil. Utöver detta beräknas även utnyttjandegraden av laddning under rasttid. Modellens inparametrar varierar beroende på vilken sträcka och lastbil som körs, och utifrån detta väljs en tillhörande körtid och en genomsnittlig förbrukning för både en diesellastbil (l/km) och för en eldriven motsvarighet (kWh/km). Beroende på scenario varierar även ellastbilens batterikapacitet och effekten för snabbladdning. Övriga inparametrar är alltid desamma, vilket är effekt för depåladdning, rasttid, emissionsfaktor för el samt emissionsfaktor och värmevärme för diesel. Värden för de fasta inparametrarna redogörs i tabell 2. För att få en överblick över samtliga parametrar som används i modellen visar figur 6 en sammanställning av både in- och utparametrar.

Tabell 2. Fasta inparametrar för modellen.

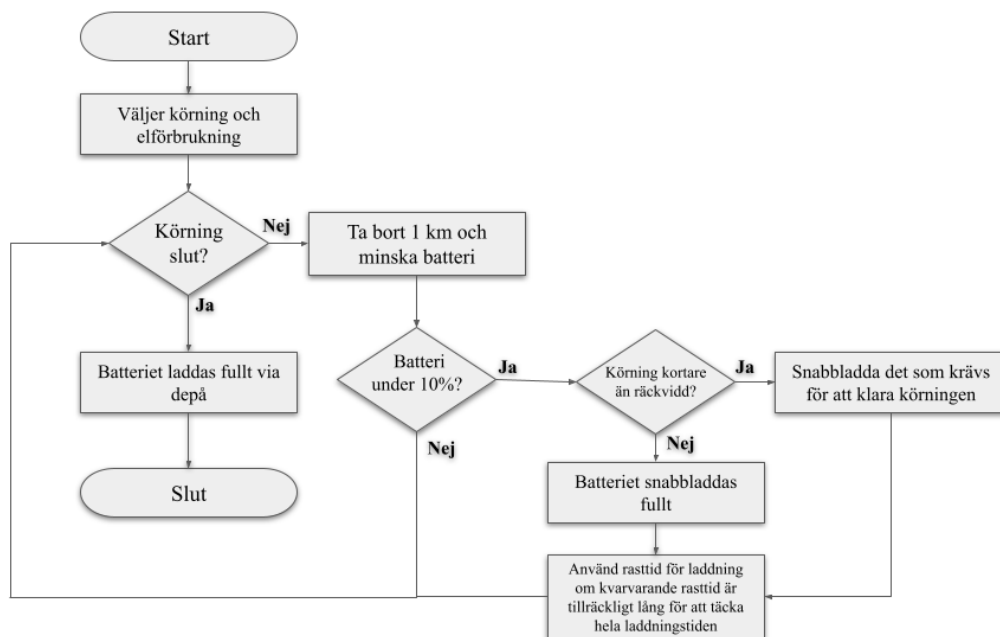
Parameter	Värde
Effekt depåladdning	50 kW
Rasttid	1 h
Emissionsfaktor (el)	13,1 gCO ₂ e/MJ
Emissionsfaktor (diesel MK1 ¹)	75,7 gCO ₂ e/MJ
Värmevärde (diesel MK1)	35,4 MJ/liter



Figur 6. In- och utparametrar för modellen.

Simuleringen visualiseras i figur 7 med hjälp av ett flödesschema. Flödesschemat består av en start- och slutnod samt rektanglar, som symboliserar ett processteg där en aktivitet genomförs. Varje romb markerar ett beslut som ska tas och besluten genomförs genom att svara ja eller nej på den fråga som ställs. Flödesschemat symboliserar en simulering för en ellastbil, där varje simulering börjar med att en körning väljs. Simuleringarna genomfördes enskilt för varje lastbil men summerades för det slutgiltiga resultatet. Den körningen som väljs är en specifik sträcka med tillhörande körtid för dess motsvarande diesellastbil, som matchas med en elförbrukning beroende på vilken lastbil som kört den körningen. Så länge körningen inte är avklarad, sjunker batterinivån i förhållande till att sträckan minskar. Simuleringen är baserad på att 80 procent av ellastbilens batterikapacitet används eftersom denna andel av batteriets kapacitet beräknas vara användbar (Grauers, 2020).

¹ Diesel miljöklass 1.



Figur 7. Flödesschema över simulering av en ellastbil.

Simuleringen utgår från att ellastbilen laddas fullt på depån inför körningen. Om batterinivån blir mindre än 10 procent under körningen antas ellastbilen snabbladdas på semi-publika laddningsstationer. Beroende på hur långt det är kvar av körningen, laddas lastbilen antingen fullt eller tillräckligt mycket för att lastbilen klarar av resten av körningen för att istället utnyttja billigare laddning via depån. Simuleringen förutsätter att det finns tillgång till en laddstation exakt i den tidpunkt då batteriet sjunker under 10 procent och påbörjar laddningen direkt. Det är därmed inget extra tidstillägg för att eventuellt behöva leta upp en laddstation eller stå i kö för en laddare då denna tid är svår att förutsäga. Laddningen antas ske under rasttid ifall den kvarvarande rasttiden är tillräcklig för att täcka hela laddningstiden, och simuleringen utgår från en total rasttid på en timme. Som sista processteg i flödesschemat laddas batteriet fullt via depå.

Efter simuleringen beräknades mängden diesel som krävs för en diesellastbil och mängden el som förbrukas av en motsvarande ellastbil. För ellastbilen beräknade modellen även antal laddningar med och utan rast, energibehovet av snabbladdning och depåladdning samt ellastbilens körtid med och utan rast.

Utöver detta beräknades även växthusgasutsläppen utifrån respektive drivmedel. Utsläppen ges i koldioxidekvivalenter, vilket betyder att mängden koldioxid har multiplicerats med en faktor kallad global uppvärmningspotential (GWP). GWP används för att kunna jämföra växthusgaser med varandra, eftersom gaserna påverkar växthuseffekten olika mycket (Boverket, 2021). Parametrarna för beräkning av utsläpp är hämtade från en sammanställning av Energimyndigheten (2021a), som beskriver genomsnittliga växthusgasutsläpp för olika drivmedel i ett livscykelperspektiv. Därmed inkluderar faktorerna samtliga utsläpp som bildats i hela produktionskedjan för att framställa drivmedlet, vilket innefattar odling och utvinning av råvara, behandling och

tillverkning, transporter för att frakta råvara och bränsle samt förbränning (Energimyndigheten, 2021a).

För användning av diesel som drivmedel, beräknades utsläppen enligt ekvation

$$U_d = f_d \cdot v_d \cdot e_d \cdot l \text{ (gCO}_2\text{e)} \quad (3)$$

där f_d är snittförbrukning (l/km), v_d är värmevärde för diesel (MJ/l), e_d är emissionsfaktorn för diesel (gCO₂e/MJ) och l är sträckan (km). Värmevärde och emissionsfaktor avser diesel i miljöklass 1, som är den vanligaste dieseln som används i Sverige (Energimyndigheten, 2021a).

Utsläppen från ett eldrivet fordon beräknas enligt ekvation

$$U_{el} = 3,6 \cdot f_{el} \cdot e_{el} \cdot l \text{ (gCO}_2\text{e)} \quad (4)$$

där 3,6 är en omvandlingsfaktor mellan MJ och kWh (MJ/kWh), f_{el} är snittförbrukning (kWh/km), e_{el} är emissionsfaktorn för el (gCO₂e/MJ) och l är sträckan (km). Emissionsfaktorn för el är baserad på svensk elmix. Utsläppen från ellastbilar avser endast utsläppen från elproduktionen eftersom ett elfordon inte släpper ut växthusgaser under körning.

3.2.3 Teoretisk översatt elförbrukning

För modellen krävdes inparametrar både i form av dieselförbrukning för de 10 utvalda lastbilarna, men även elförbrukning för varje motsvarande ellastbil. Utifrån Webfleets data sammanställdes en genomsnittlig dieselförbrukning för respektive lastbil (se Appendix A), vilket användes som dieselförbrukning i modellen. För elförbrukningen översattes de utvalda lastbilarnas dieselförbrukning till motsvarande elförbrukning. För översättningen användes en genomsnittlig dieselförbrukning utan tomgångsförbrukning eftersom ett elfordon inte använder bränsle när den står still. Tomgångskörning inkluderar i detta fall inte kraftuttag, vilket innebär motorarbete för att driva påbyggnadsutrustning (Lynn, 2020). Då en ellastbil kräver energi för kraftuttag behövde energiåtgången för detta bevaras i översättningen till elförbrukning.

Den teoretiska elförbrukningen för respektive lastbil beräknades därefter genom ekvationen

$$f_{el} = \frac{f_d \cdot q}{n} \text{ (kWh/km)} \quad (5)$$

med värden från tabell 3. I ekvationen motsvarar f_d dieselförbrukningen (l/km), q omvandlingsfaktorn (kWh/l) och n en verkningsgrad-ratio. Omvandlingsfaktorn avser energiinnehållet i diesel (Liimatainen et al, 2019). Verkningsgrad-ratio användes för att ta hänsyn till skillnaden i verkningsgrad mellan diesel- och elmotor eftersom ett elfordon är betydligt mer energieffektivt (Mareev et al, 2018).

Tabell 3. Parametrar för att översätta dieselförbrukning till elförbrukning.

Parameter	Värde
Omsättningstal (q)	9,794
Verkningsgrad-ratio (n)	2,5

Baserat på den genomsnittliga elförbrukningen för Roma Grus lastbilar beräknades även räckvidden för en ellastbil för de olika scenarierna beroende på batterikapacitet. Genomsnittsförbrukningen som användes var 1.88 kWh/km. Räckvidden beräknades för att avgöra hur stor andel av åkeriets transporter en ellastbil hade klarat utan laddning.

3.2.4 Kostnadskalkyl

Med hjälp av resultatet från modellen uppskattades en kostnadskalkyl för att belysa kostnadsmässiga skillnader mellan el- och diesellastbilar samt för att identifiera skillnaden i återbetalningstid för omställningen till eldrift. Beräkningarna utfördes genom att sammanställa den årliga dieselförbrukningen och det årliga laddbehovet, där normalladdning på depån och snabbladdning skildes åt då dessa har olika kostnadsnivåer.

Kalkylen avser kostnader för Roma Grus tio lastbilar under ett år, och inkluderar drivmedelskostnader för el respektive diesel, investering av laddinfrastruktur, merkostnadspris vid inköp av elfordon, eventuellt investeringsstöd för inköp av fordon samt kostnaden för extra arbetstid som laddning eventuellt kan medföra. Beräkningarna grundar sig i priser och kostnader baserat på Trafikverkets (2021a) prognos för år 2030 och 2040. De valda parametrarna presenteras i tabell 4. Kostnadskalkylen baserades på Scenario 2, då priserna är tagna från Trafikverket (2021a), som grundar sin kostnadsanalys på samma batterikapacitet och laddeffekt.

Tabell 4. Parametrar för kostnadskalkyl.

År	2030	2040
Elpris depåladdning (inkl. energiskatt, exkl. moms)	1,186 kr/kWh	1,403 kr/kWh
Prispåslag semi-publik snabbladdning	2,75 kr/kWh	2,75 kr/kWh
Dieselpreis (inkl. koldioxidskatt och energiskatt, exkl. moms)	15,03 kr/liter	19,17 kr/liter
Laddningspunkt för depåladdning	150 000 kr	150 000 kr
Merkostnad vid inköp av ellastbil	585 747 kr	302 697 kr
Investeringsstöd vid inköp av ellastbil	350 000 kr	0 kr
Timlön förare	278 kr/h	278 kr/h

Prognoserna utgår från en höjd reduktionsplikt då Trafikverket (2021a) anser att en ökning till 66 procent för diesel år 2030 är högst sannolik. Merkostnaden för inköp av ellastbilar motsvarar skillnaden från att köpa en regional diesellastbil, eftersom Roma Grus anses köra regionalt baserat på dagliga körsträckor och fordonsvikt. Därmed valdes även semi-publik laddning istället för publik, då regionala transporter antas vara i störst behov av denna typ av laddstation för snabbbladdning (Power Circle, 2021). Kostnaden för en laddningspunkt avser lågspänning samt växelström, då detta är ett billigare alternativ än likström, med laddeffekten 50 kW. Kostnaden för laddare inkluderar även elnätsanslutning, kabelskåp och entreprenadarbete på kundens egen tomt. Värt att notera är att kostnaden för laddningspunkten är uppskattad, och kan variera beroende på elnätsbolag och landsdel. Investeringsstödet vid inköp av ellastbil för år 2030 är från en klimatpremie som uppskattas pågå till år 2030 och avvecklas fram till år 2035 (Trafikverket, 2021a).

3.3 Elektrifiering av Gotlands tunga fordon

För att analysera potentialen av en omfattande elektrifiering av Gotlands tunga transporter har energi- och effektbehovet från ellastbilar uppskattats, där energibehovet har jämförts med motsvarande diesellastbilar. Slutligen jämförs även mängden växthusgasutsläpp från transporterna utifrån diesel respektive el som drivmedel.

3.3.1 Energibehov

Energibehovet uppskattades genom att använda en genomsnittlig energiförbrukning per transportarbete. Förbrukningen för diesel baserades på en 32 tons diesellastbil från Roma Grus med en maxlast på 20 ton. Andra lastbilar från Roma Grus fordonsflotta uteslöts då denna lastbil är den enda som vanligtvis kör utan släp och dessutom har regelbundna sträckor med fullast hälften av sträckan och tom andra halvan. Den utvalda lastbilen är ett nytt tillskott hos Roma Grus, och den genomsnittliga dieselförbrukningen är därmed endast baserad på körningar under perioden 10 januari till 4 februari. Energiförbrukning per transportarbete beräknades enligt

$$f_{t,d} = \frac{f_d \cdot q}{0.5 \cdot m_{last}} \text{ (kWh/tonkm)} \quad (6)$$

där f_d avser snittförbrukningen (l/km), q omvandlingsfaktorn som avser värdet 9,794 enligt tabell 3 (kWh/l) och m_{last} maxlasten (ton).

Energiförbrukningen per transportarbete för el är dels baserad på pilotprojektets ellastbil, och dels på en teoretisk översättning. Uppskattningen av energibehovet grundar sig därmed i två fall för att kunna jämföra resultaten från en verklig ellastbil med teoretiska beräkningar baserat på en diesellastbil. Detta har gjorts eftersom båda förbrukningarna baseras på en liten mängd data. Den teoretiska översättningen grundar sig på samma diesellastbil ur Roma Grus fordonsflotta som användes för energibehovet för diesel. Vid översättningen exkluderades tomgångsförbrukningen från den

genomsnittliga förbrukningen, och därefter beräknades energiförbrukningen per transportarbete genom ekvation (5) och (2).

För att beräkna det totala energibehovet för Gotlands tunga transporter användes publicerad statistik för lastbilstrafik från Trafikanalys (2021a). Statistiken avser totala mängden transportarbete av svenska lastbilar inom Gotlands län under år 2020. Energitillbehovet för olika andelar av transporterna beräknades genom ekvation

$$E = f_t \cdot g \text{ (GWh)} \quad (7)$$

där f_t avser energiförbrukning per transportarbete (kWh/tonkm) och g transportarbete (miljoner tonkm). Detta kunde senare jämföras med den totala elförbrukningen på Gotland under år 2020, som hämtats från Statistiska Centralbyrån (2021).

3.3.2 Effektbehov

För att bedöma elnätets kapacitet vid laddning av tunga fordon jämfördes effektförbrukningen på Gotland med ett uppskattat effektbehov för en elektrifierad tung fordonsflotta. Effektbehovet beräknades både för normalladdning under nattetid och för snabbladdning under dagen för samtliga scenarier baserat på antalet tunga diesellastbilar på Gotland (Trafikanalys, u.å) enligt ekvationen

$$P = P_{ladd} \cdot N_{bilar} \text{ (MW)} \quad (8)$$

där P_{ladd} är laddeffekt (MW) och N_{bilar} är antalet lastbilar. Uppskattningen baserades på ett antagande om att Gotlands tunga fordonsflotta endast inkluderar lokala och regionala transporter, vilket motsvarar en daglig körsträcka på 150–200 km respektive 300–400 km per fordon (Power Circle, 2021). I Scenario 1 antogs alla lastbilar ladda samtidigt eftersom majoriteten av lastbilarna kommer att behöva ladda någon gång under dagen då räckvidden är förhållandevis låg. I Scenario 2 och 3 antogs endast hälften av lastbilarna ladda samtidigt, då räckvidden för dessa scenarier borde vara tillräckligt höga för att lokala transporter ska klara sig en hel dag utan snabbladdning. Då det inte fanns några siffror att tillgå som bekräftar andelen lokala och regionala transporter på Gotland antogs de bestå av lika stor andel vardera. Det uppskattade effektbehovet jämfördes sedan med den maximala och normala effektförbrukningen på Gotland, med värden från Energimyndigheten (2018).

3.3.3 Utsläpp

För att beräkna mängden växthusgasutsläpp från tunga transporter på Gotland användes återigen den totala mängden transportarbete och samma förbrukningar som i avsnitt 3.3.1. Utsläppen från diesel som drivmedel beräknades enligt ekvation

$$U_d = f_{t,d} \cdot v_d \cdot e_d \cdot g \text{ (gCO}_2\text{e)} \quad (9)$$

där $f_{t,d}$ är snittförbrukning per transportarbete (l/tonkm), v_d är värmevärde för diesel (MJ/l), e_d är emissionsfaktorn för diesel (gCO₂e/MJ) och g är godstransporter (miljoner tonkm).

Utsläppen från ellastbilar beräknades både utifrån pilotprojektets ellastbil och från Roma Grus diesellastbil enligt ekvation

$$U_{el} = 3,6 \cdot f_{t,el} \cdot e_{el} \cdot g \text{ (gCO}_2\text{e)} \quad (10)$$

där 3,6 är en omvandlingsfaktor mellan MJ och kWh [MJ/kWh], $f_{t,el}$ är snittförbrukning per transportarbete (kWh/tonkm), e_{el} är emissionsfaktorn för el (gCO₂e/MJ) och g är godstransporter (miljoner tonkm). En sammanställning över samtliga parametrar för beräkning av energibehov, effektbehov och utsläpp redovisas i tabell 5.

Tabell 5. Parametrar för elektrifiering av Gotlands tunga fordon.

Parameter	Värde
Antal tunga diesellastbilar på Gotland	631 st
Godstransporter med svenska lastbilar inom Gotland	86,45 miljoner tonkm
Maximal effektförbrukning på Gotland	180 MW
Normal effektförbrukning på Gotland	125 MW
Elförbrukning på Gotland under ett år	903 GWh

3.4 Metodkritik

Studiens metod har krävt ett flertal antaganden, vilket gör att det finns en grad av osäkerhet i resultaten. Samtidigt har det gjorts förenklingar av verkligheten. Simuleringen av ett eldrivet fordon har förenklats i modellen och speglar därmed inte verkligheten till fullo, bland annat eftersom laddstationer antas vara konstant tillgängliga under hela körningen.

Ett antagande som kan ha avgörande påverkan på resultaten är beräkningen av energiförbrukning per transportarbete, där lastbilarna antogs köra full last hälften av sträckan och tom last hälften. I den data som erhållits av Roma Grus transporter fanns inte lastvikt dokumenterad, och därmed kunde inte heller beräkningarna baseras på en känd lastvikt. Körloggarna för pilotprojektets ellastbil var tänkta att bidra med information om lastvikt för den lastbilen, men då körloggarna endast bestod av en dags körning på grund av de lades till sent i testperioden, baserades datat främst på Volvo Connect som inte hade dokumenterad lastvikt. Eftersom lastvikten är ett antagande kan detta likt andra antaganden i studien ge ett missvisande resultat, och därför hade varit fördelaktigt med information om fordonens lastvikt.

4. Resultat och analys

I detta kapitel presenteras och analyseras först resultaten från fallstudien för åkeriet Roma Grus, och därefter beräkningarna gällande en omfattande elektrifiering av tunga transporter på Gotland.

4.1 Fallstudie

Till att börja med redogörs utvärderingen av Ecoloops pilotprojekt, som inkluderar beräkning av ellastbilens elförbrukning och räckvidd samt Roma Grus upplevelser av lastbilen. Vidare presenteras resultaten från modelleringen, där skillnader mellan el- och diesellastbilar har undersökts med avseende på laddbehov, körtid, utsläpp och kostnader. Slutligen presenteras en känslighetsanalys som gjorts på kostnadskalkylen.

4.1.1 Utvärdering av pilotprojektet

För pilotprojektets ellastbil har elförbrukning både per trafikarbete och per transportarbete samt räckvidd beräknats, vilket presenteras i tabell 6. Förbrukningen per kilometer beräknades till 1,48 kWh/km. I Power Circle (2021) antas den genomsnittliga förbrukningen för ett regionalt fordon på 16–30 ton vara mellan 1–1,5 kWh, och eftersom totalvikten för pilotprojektets ellastbil är 27 ton är det därmed rimligt att energiförbrukningen ligger i det övre spannet. En hög förbrukning kan även bero på att ellastbilen endast har kört i Visby med låg hastighet, vilket i genomsnitt resulterat i en högre förbrukning. Elförbrukningen tillsammans med bilens batterikapacitet på 200 kWh resulterar i en räckvidd på 108 km. Den beräknade räckvidden stämmer väl överens med uppfattningen på 110 km enligt Funk,² föraren av ellastbilen.

Tabell 6. Beräknad bränsleförbrukning samt räckvidd för pilotprojektets ellastbil.

Parameter	Värde
Elförbrukning per kilometer	1,48 kWh/km
Elförbrukning per transportarbete	0,20 kWh/tonkm
Räckvidd	108 km

Det huvudsakliga resultatet från pilotprojektet är att det har varit en utmaning att anpassa ellastbilen till Roma Grus dagliga verksamhet. Utmaningarna har främst grundat sig i otillräcklig laddinfrastruktur samt lastbilens räckvidd, som upplevdes vara för kort för att fungera i verksamheten. Räckvidden bidrog till att ellastbilen behövde snabbladdning under dagen, vilket endast var möjligt med batterilagret placerat hos Volvo i Visby. Laddning utöver detta har inte varit möjlig eftersom laddinfrastruktur för

² Linus Funk. Anställd på Roma Grus. 2022. Intervju den 8 februari.

lastbilar ännu inte finns att tillgå på Gotland. Då ellastbilen inte har kunnat köra längre sträckor från depån har det enligt Funk³ varit svårt att hitta passande transporter för fordonet. Roma Grus verksamhet innefattar körningar som gör att lastbilarna kör över stora delar av Gotland utan att återvända till depån förrän i slutet av arbetsdagen. Baserat på de 10 diesellastbilar som användes i denna studie är den genomsnittliga körsträckan 263 km per dag. Avståndet för körningarna varierar dessutom beroende på lastbil och dag, vilket medför en utmaning för en elektrifiering.

Laddningen av ellastbilen komplicerades ytterligare på grund av tekniska problem med batterilagret. Dels fungerade inte laddningen under en period på grund av en trasig jordfelsbrytare, och dels kunde inte batterilagret förse bilen med den snabbladdning som var tänkt. Batterilagret bestod av tre 50 kW-laddare, där en av dessa användes för normalladdning under natten. Snabbladdning skulle ske genom att kombinera alla tre laddare för att få en effekt på 150 kW, vilket inte fungerade. Därmed kunde endast 50 kW användas, vilket gjorde att laddning till 80 procent tog drygt tre timmar istället för en timme. Laddningstiden medförde därmed att ellastbilen inte kunde användas igen den dagen, eftersom den hade kört slut på batteriet på förmiddagen.

Utöver detta fungerade ellastbilen bra utan några tekniska problem. Förare Funk⁴ upplevde fordonet väldigt tyst samt bekvämt att köra. Han ansåg att ellastbilen var minst lika bra att köra som en diesellastbil, bortsett från problem med räckvidd och laddning. Dock upplevde Funk det som stressigt att batterinivån minskade, eftersom han visste att lastbilen behövde återvända till depån för att ladda. Denna stress märker han inte av med en diesellastbil eftersom konventionella bränslestationer är så pass etablerade.

Utifrån resultatet av pilotprojektet är det tydligt att det fortfarande finns en hel del både kommunikativa och tekniska delar att utveckla inom implementeringen av ellastbilar och laddstationer. Pilotprojektet har inte gått helt utan utmaningar eftersom ellastbilen inte har kunnat köra som det var tänkt, men trots det har elförbrukning och räckvidd kunnat beräknas. För att elektrifiering ska fungera för Roma Grus behövs dock ellastbilar med högre batterikapacitet än vad fordonet i pilotprojektet har. Detta skulle möjliggöra en längre räckvidd för fordonen och bidra till färre laddningar under dagen. Samtidigt behövs en mer utvecklad laddinfrastruktur då åkeriets transporter är väldigt varierande med avseende på destination, vilket gör att tillgång till laddning hade varit nödvändigt på ett flertal platser på Gotland utöver depån. Snabbladdning är en förutsättning för att arbetet hos Roma Grus ska kunna genomföras med ellastbilar, och för detta krävs anpassning av laddningen vid tillfällen då fordonet ändå står still.

³ Linus Funk. Anställd på Roma Grus. 2022. Intervju den 8 februari.

⁴ Ibid.

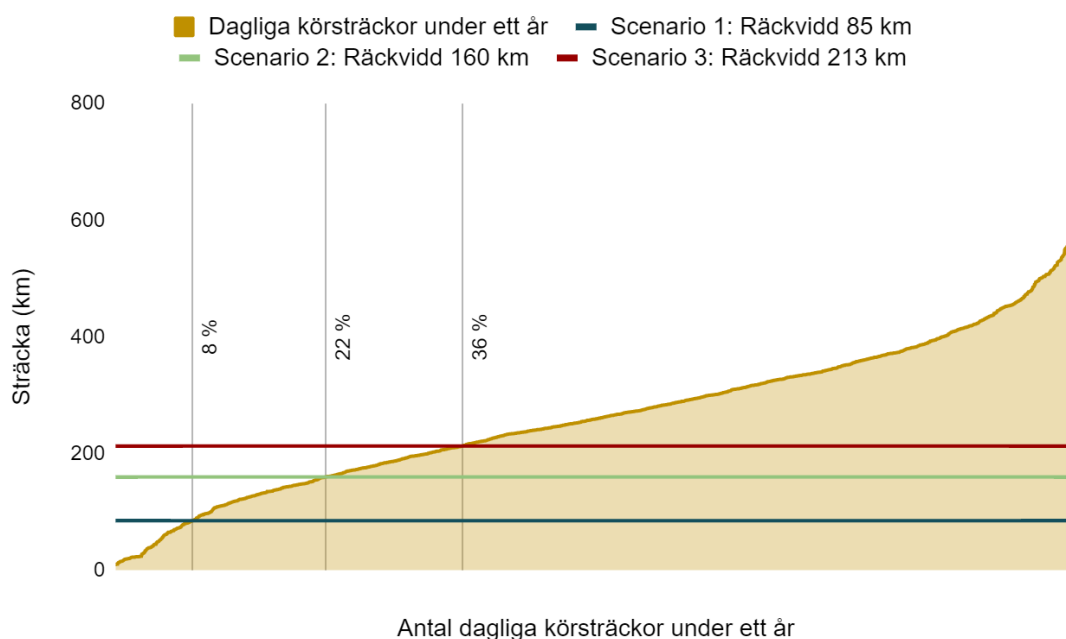
4.1.2 Modellering

I denna del presenteras resultatet från modelleringen för att jämföra användningen mellan diesel- och ellastbilar i Roma Grus verksamhet under ett år. Tabell 7 presenterar den genomsnittliga räckvidden för ellastbilarna baserat på batterikapacitet utifrån respektive scenario. I tabellen ingår även laddningstiden för en fulladdning baserat på batterikapaciteten och laddeffekten för scenarierna, samt den genomsnittliga laddtiden för tillfällen då lastbilarna inte laddar fullt.

Tabell 7. Räckvidd samt laddtid för full- och icke fulladdning.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Räckvidd	85 km	160 km	213 km
Laddtid fulladdning	64 min	51 min	24 min
Genomsnittlig laddtid för icke fulladdning	40 min	31 min	13 min

Den genomsnittliga räckvidden för scenarierna jämfördes med de dagliga körsträckorna, vilket totalt var 2378 st. Detta illustreras genom ett varaktighetsdiagram i figur 8.

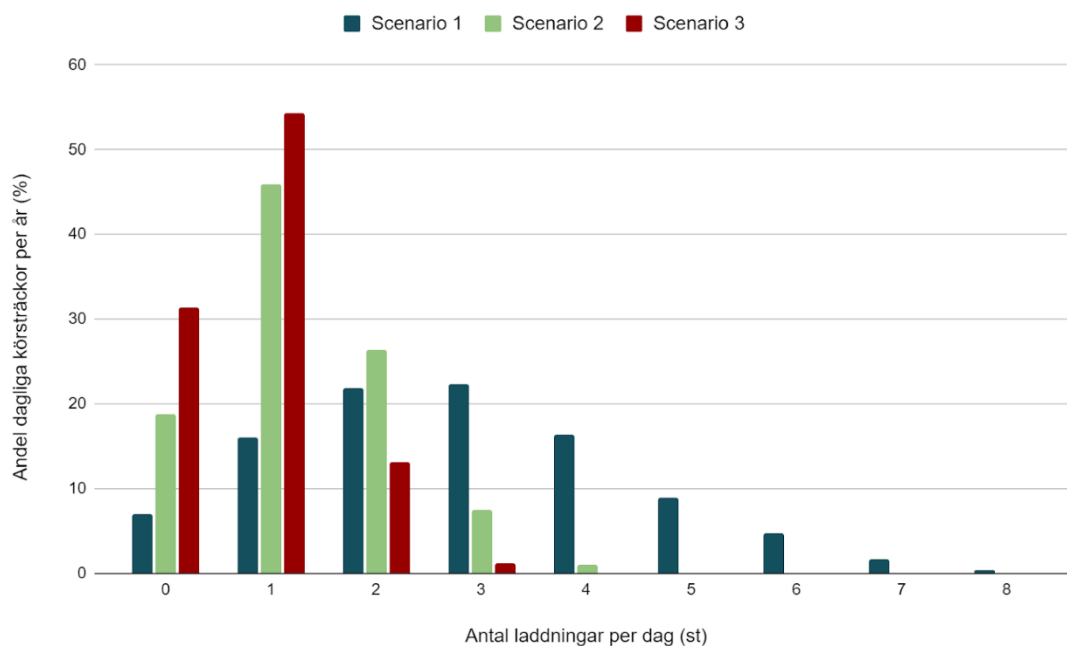


Figur 8. Varaktighetsdiagram med längden av de dagliga körsträckorna för Roma Grus transporter med räckvidd för respektive scenario.

Figur 8 beskriver längden på de dagliga körsträckorna, där de vågräta linjerna markerar scenariernas räckvidd baserat på batterikapacitet, som motsvarar en sträcka på 85, 160 respektive 213 km. De lodräta markeringarna avser andelen dagliga körsträckor som täcker scenariernas räckvidd, och speglar hur många av sträckorna som kan genomföras

utan laddning. Räckvidden täcker därmed 8, 22 och 36 procent av sträckorna beroende på scenario, vilket visar att oavsett batterikapacitet behöver den övervägande delen av körningarna minst en laddning under dagen. Detta beror på att Romas Grus dagliga körsträckor är relativt långa då avståndet sträcker sig mellan 0–800 km per dag samt på grund av att deras förhållandevis höga energiförbrukning.

Modelleringen av åkeriets körsträckor under ett år beräknade antalet laddningar, som krävs för en ellastbil per dag för de tre olika scenarierna, vilket illustreras av ett stapeldiagram i figur 9.

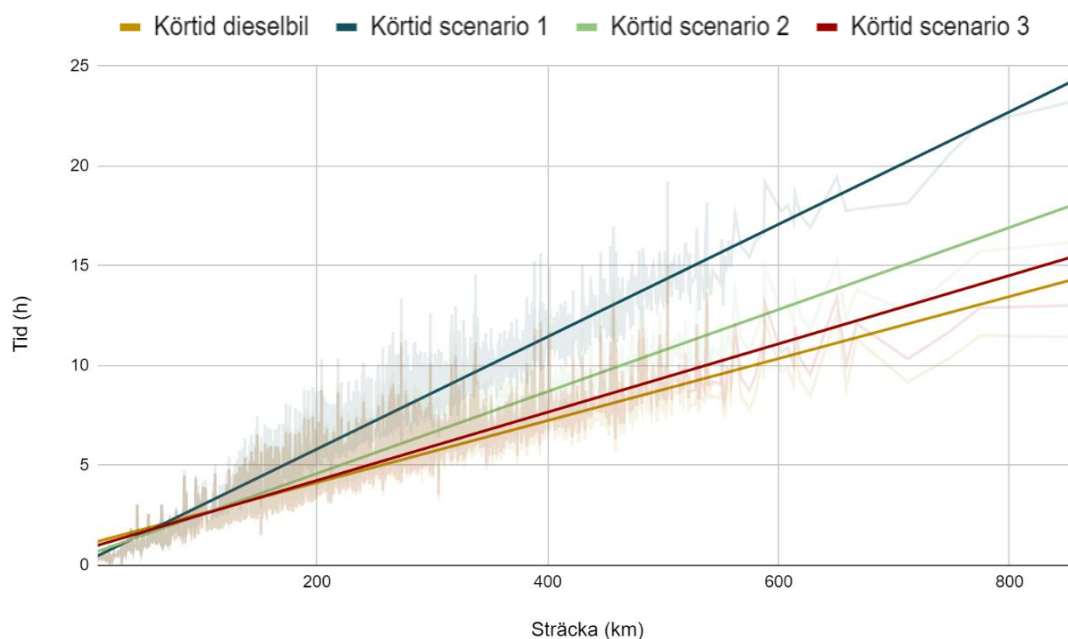


Figur 9. Antalet laddningar per daglig körsträcka för Roma Grus transporter utifrån de olika scenarierna.

Figur 9 visar att antalet laddningar varierar beroende på scenario, och därmed har batterikapaciteten en tydlig inverkan för hur många gånger en ellastbil behöver avbryta en körning för att ladda. I Scenario 1 blir en stor andel av körsträckorna svåra att anpassa till ett arbetsschema eftersom antalet laddningar är förhållandevis högt och laddningstiden för en full laddning är 64 minuter. Detta gäller även flera körsträckor för Scenario 2, där tiden för fulladdning är 51 minuter. Scenario 3 är mest applicerbar på Roma Grus verksamhet då 85 procent av de dagliga körningarna maximalt kräver en laddning på 24 minuter, där den korta laddningstiden även gör det enklare att anpassa till förarens rast. Observera dock att en laddning nödvändigtvis inte motsvarar en full laddning, utan kan även vara mindre eftersom ellastbilen inte laddar fullt om körsträckan är kortare än räckvidden. Detta inträffar genomgående i simuleringarna, vilket innebär att varje körning alltid har en laddning som inte är en fulladdning, och ett genomsnitt för dessa laddningar presenteras i tabell 7. Om laddningarna dessutom hade anpassats till rast hade antalet laddningar kunnat vara fler än vad figur 8 visar. Studiens

modell är baserad på en sammansatt rast på 60 minuter, men i vanliga fall har Roma Grus två raster på 30 minuter. Detta medför att laddningarna kan behöva delas upp för att kunna anpassas till deras raster.

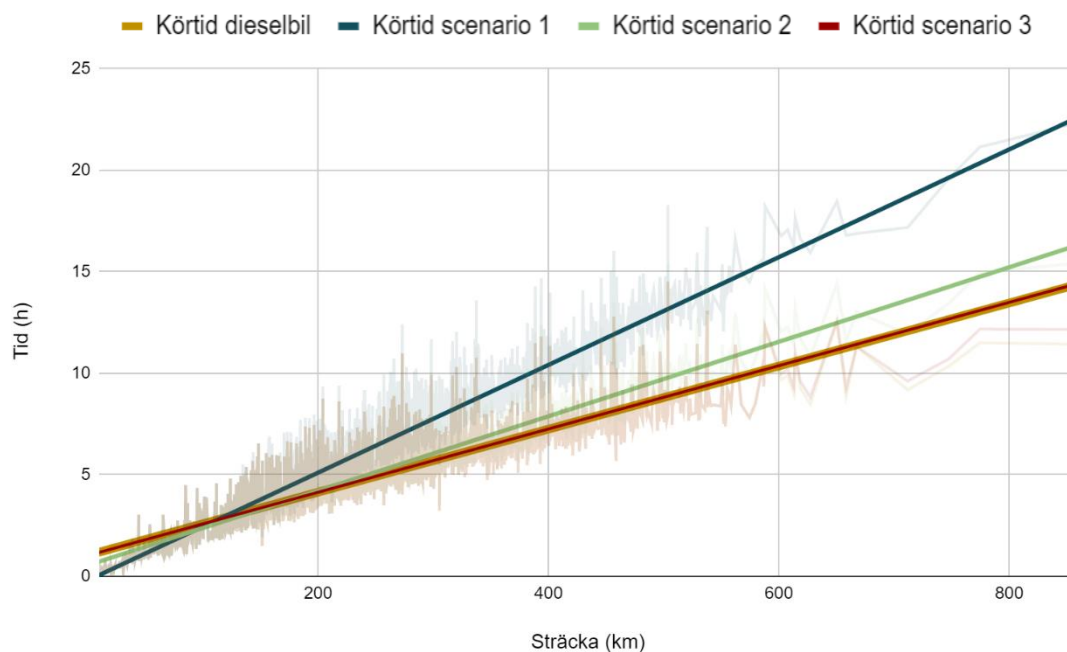
Utifrån modellens resultat, har körtiden för en diesellastbil jämförts med körtiden för en ellastbil, där laddningstiden är inkluderad. Figur 10 beskriver tiderna mellan dessa utifrån de tre scenarierna.



Figur 10. Körtider för diesellastbil samt de olika scenarierna för Roma Grus transporter.

För att få en tydligare bild av resultatet har en trendlinje skapats för varje utfall. Det simulerade resultatet är markerat med ljusare ton i figuren. Resultatet tyder på att batterikapaciteten och laddeffekten måste likna Scenario 3 för att ellastbilen tidsmässigt ska motsvara en diesellastbil. På grund av skillnaden i körtid mellan Scenario 1 och diesellastbilen, behöver ellastbilen ungefär köra dubbelt så snabbt som en diesellastbil för att köra 60 mil på samma tid. Om ellastbilen i samma exempel hade kört i samma hastighet som diesellastbilen, hade ellastbilen krävt cirka sju timmar extra för att genomföra körningen, vilket hade resulterat i flera ytterligare arbetstimmar.

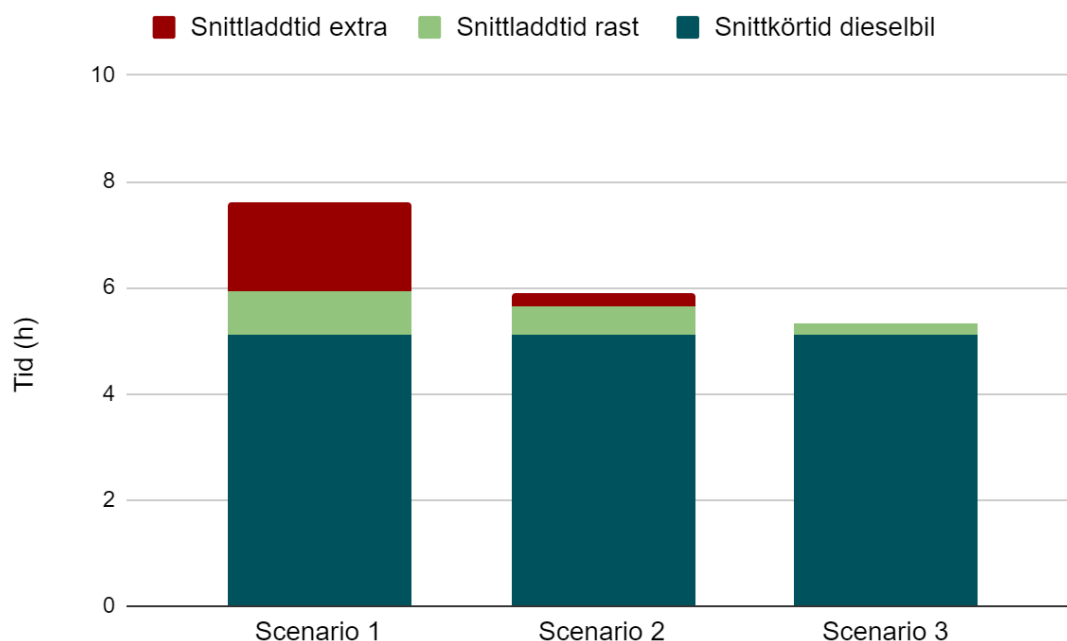
Genom att ta hänsyn till att föraren kan utnyttja rasten för laddning kan skillnader i körtiderna minska. Figur 11 visar samma diagram som figur 9, men med antagandet om att en timmes rast kan utnyttjas till laddning för varje daglig körning.



Figur 11. Körtider för dieselbil samt de olika scenarierna med hänsyn till rastladdning för Roma Grus transporter.

Resultatet från figur 11 visar att det är viktigt att rasten används för att det ska vara realistiskt att övergå till eldrivna lastbilar. Utnyttjandet av rasten gör att Scenario 3 kan få samma körtid som diesellastbilen (de två graferna ligger precis på varandra). Scenario 2 ger nästan samma utfall som Scenario 3, men för längre sträckor blir skillnaden större. För att Scenario 2 ska kunna likställas med körtiden för diesellastbilar, skulle det krävas att laddningen även ska kunna ske under andra tillfällen än rast då lastbilen ändå står still, såsom under lastning.

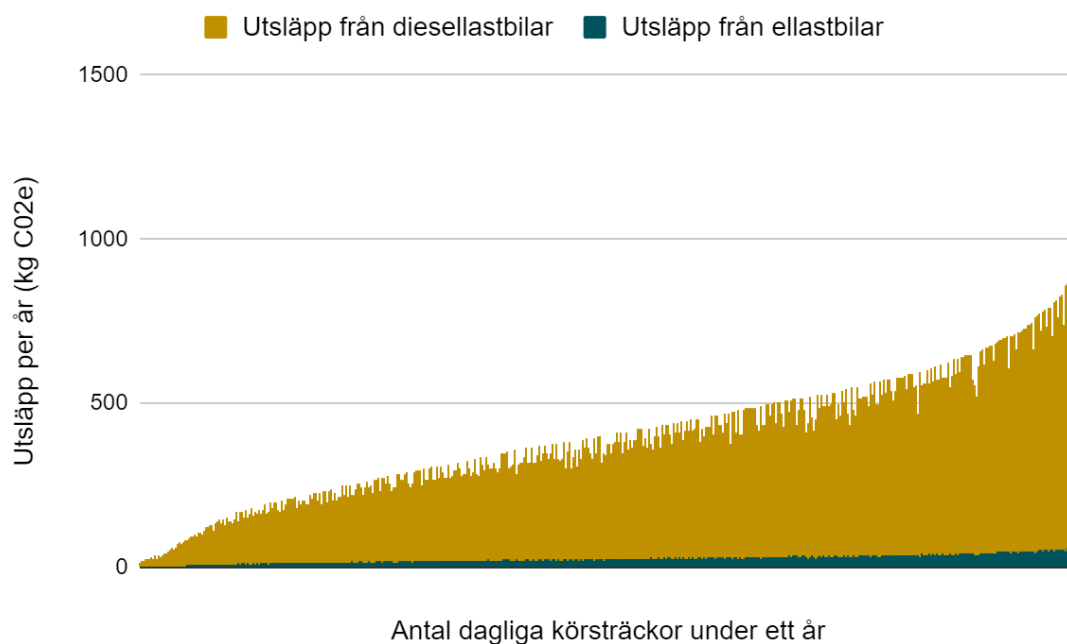
Om Roma Grus skulle ha eldrivna motsvarigheter hade fordonen i de flesta fall behövt ladda. Figur 12 visar en genomsnittlig körtid per dag utifrån de dagliga körsträckorna för dieselbilarna där laddtid under och utöver rast har adderats för att illustrera hur verksamheten hade påverkats tidsmässigt av laddningen.



Figur 12. Daglig genomsnittlig körtid, laddtid under rast samt laddtid utöver rast för Roma Grus transporter utifrån de olika scenarierna.

Ur diagrammet går det att utläsa att en genomsnittlig daglig körning hos Roma Grus vanligtvis tar cirka fem timmar. Laddningstiden som kan ske under rast är i genomsnitt 49 minuter för Scenario 1, 31 minuter för Scenario 2 och 12 minuter för Scenario 3. Anledningen till att inte hela rasttiden utnyttjas för Scenario 1 och 2 beror på att modelleringsverktyget utgick från att laddningen inte görs under rast ifall inte hela laddningen hinner utföras under den rasttid som finns kvar. Utöver rastladdningen krävs det extra laddning för Scenario 1 och 2, vilket i genomsnitt blir 99 respektive 15 minuter. Scenario 3 kräver ingen extra laddtid utöver rast, vilket gör scenariot väl applicerbart på Roma Grus verksamhet. Detta innebär att laddningen inte behöver påverka deras ordinarie körschema, förutsatt att laddningen görs under rast. Dock innefattar inte dessa scenarion den extra tid som behövs för att söka upp en laddstation och möjligtvis stå i kö för att få tillgång till en laddare, vilket hade bidragit till mer tid för laddningen.

En elektrifiering av Roma Grus transporter hade resulterat i betydliga utsläppsminskningar, vilket presenteras i figur 13. Figuren beskriver ett varaktighetsdiagram med utsläppsnivån för vardera drivmedel i förhållande till deras dagliga körsträckor under ett år. Totalt resulterar utsläppen i 822 ton koldioxidekvivalenter för diesel och 56 ton för el. Byte till eldrift resulterar därmed i en utsläppsminskning på 93 procent för Roma Grus tunga transporter.



Figur 13. Varaktighetsdiagram med utsläpp av koldioxidekvivalenter utifrån Roma Grus transporter med avseende på daglig körsträcka för deras diesellastbilar och motsvarande ellastbilar.

Resultatet från modelleringen av Roma Grus transporter tyder på att det hade varit svårt att använda ellastbilar i verksamheten. På grund av långa körsträckor och hög förbrukning hade det krävts fordon med hög batterikapacitet för att antalet laddningar och laddningstiden inte ska försvåra arbetet. Det är endast förutsättningarna i Scenario 3 som resulterar i körtider som kan likställas med diesellastbilarna. För de längsta sträckorna kräver dock körningarna för Scenario 3 upp till tre laddningar, vilket indikerar att etablerad laddinfrastruktur är nödvändigt trots hög batterikapacitet. Dessutom är anpassning av laddningen viktig för att kunna utnyttja tillfällena då lastbilen ändå står still, vilket är avgörande för att användningen av eldrivna fordon ska vara realiserbart hos Roma Grus.

4.1.3 Kostnadskalkyl

För att jämföra kostnadsmässiga skillnaden mellan investering av diesel- respektive ellastbilar har en kostnadskalkyl tagits fram för 10 lastbilar från Roma Grus verksamhet. Kostnaderna har beräknats för år 2030 samt 2040, och presenteras med avrundade värden i tabell 8.

Tabell 8. Kostnadsskillnader mellan 10 diesel-respektive ellastbilar för år 2030 och 2040 under första investeringsåret. Negativa värden innebär en förlust vid investering av ellastbilar och vice versa.

År	2030	2040
Drivmedel	+ 1 200 000 kr	+ 2 200 000 kr
Arbetstid	- 160 000 kr	- 160 000 kr
Laddinfrastruktur	- 1 500 000 kr	- 1 500 000 kr
Fordonsinvestering	- 2 400 000 kr	- 3 000 000 kr
Total kostnadsskillnad	- 2 800 000 kr	- 2 500 000 kr
Extra återbetalningstid för en ellastbil	3,7 år	2,3 år

Investeringen av ellastbilar medför en större förlust under första året jämfört med diesellastbilar på grund av kostnader för arbetstid, laddinfrastruktur och fordonsinvestering. Detta innebär att ellastbilar medför en ytterligare förlust på 2 800 000 kr för år 2030 och 2 500 000 kr för år 2040 jämfört med diesellastbilar. Årtiondena skiljer sig främst från varandra på grund av drivmedelskostnaderna, eftersom dieselpriset förväntas öka mer än elpriset med laddning via depå mellan år 2030 och 2040. Fordonsinvesteringen skiljer sig med cirka 600 000 kr mellan årtiondena på grund av ett investeringsstöd på 350 000 kr per lastbil beräknas finnas år 2030 och att merkostnadspriset för inköp av en ellastbil minskar med cirka 280 000 kr per lastbil från 2030 till 2040.

Återbetalningstiden för en ellastbil blir totalt 3,7 år längre än för en diesellastbil år 2030 och 2,3 år längre 2040. Återbetalningstiden syftar dock endast till extra återbetalningstid jämfört med en dieselbil, och avser därmed inte hela tiden som behövs för att återbetala investeringen. Återbetalningstiden blir längre för en ellastbil på grund av investeringskostnaderna men åkeriet kommer att tjäna på drivmedlet genom att byta till eldrift. Eftersom ellastbilen är billigare i drift kommer den vara kostnadsmässigt fördelaktig när investeringen under första året är återbetald.

Kostnaderna tar inte hänsyn till underhåll och reparationer under användningen av fordonet då det inte funnits värden för dessa, men enligt Trafikverket (2021a) förväntas en ellastbil ha lägre underhållskostnader än en diesellastbil. Eventuellt stöd för laddinfrastruktur genom Klimatklivet har inte heller inkluderats då bidraget baseras på företagets storlek, vilket gjort att det inte funnits definitiva värden för stödet. Därmed är kostnaden för laddstationer troligen billigare än resultatet i denna kalkyl. I denna kalkyl antogs även kostnaden för laddinfrastruktur alltid ha en egen kabelanslutning, men denna kostnad kan bli billigare då anslutningen troligen kan delas mellan flera ellastbilar (Trafikverket, 2021a).

Kostnadsuppskattningarna baseras på priser från Trafikverkets rapport (2021a), och enligt tidigare utsago är dessa endast uppskattningar. Framtida priser kan förutspås men det är väldigt oförutsägbart. Likaså är resultatet baserat på en modell som inte är helt verklighetstrogen. En faktor som har påverkan på kostnaden är tiden det tar för en förare att hitta en ledig laddstation, vilket inte togs i åtanke i modellen. Denna tid innebär att kostnaden för extra arbetstid hade blivit högre.

Kostnadskalkylen förutsätter att fordonet laddar så mycket som möjligt under natten för att nyttja det lägre elpriset med laddning via depå. Detta är en viktig aspekt eftersom drivmedelspriset är cirka tre gånger dyrare vid semi-publik snabbladdning. Lastbilarna har inte antagits behöva ladda publikt eftersom Romas Grus lastbilar antas vara regionala och därför endast behöva semi-publik laddning. På grund av deras oregelbundna körmonster kan publik laddning ändå vara aktuellt, vilket hade resulterat i högre laddningskostnader och därmed större total skillnad i kostnader mellan diesel- och ellastbilar.

4.1.4 Känslighetsanalys

Eftersom framtida bränslepriser är svåra att uppskatta, har en känslighetsanalys gjorts på kostnadskalkylen för att undersöka hur dagens drivmedelspriser påverkar resultatet. Priset för diesel och el vid depåladdning har därför ändrats för att motsvara dagens priser. Resterande parametrar motsvarar samma priser som för år 2030, dels på grund av brist på tillgång till nuvarande priser, men också för att kunna fokusera på vilken påverkan drivmedelspriserna har på den totala kostnadsskillnaden, då denna aspekt kan variera betydligt. Dessutom kommer elpriserna att svänga mer och oftare i framtiden i takt med att andelen förnybar el ökar (Konsumenternas Energimarknadsbyrå, 2022). Drivmedelspriserna för känslighetsanalysen baseras på ett genomsnitt för april år 2022 och sammanfattas i tabell 9.

Tabell 9. Drivmedelspriser för känslighetsanalys.

Parameter	Värde
Dieselpriis (inkl. koldioxidskatt och energiskatt, exkl. moms)	18,58 kr/liter
Elpris depåladdning (inkl. energiskatt, exkl. moms)	0,9 kr/kWh

Dieselpriiset baseras på prishistorik från Tanka (u.å), och elpriset utgår från E.ON (2022), vilket gäller för elområde 3 (motsvarande området kring Stockholm till Göteborg) med ett antagande om moms på 25 procent. Kostnaderna i figur 9 är relativt höga både i jämförelse med år 2030 och 2040, men också med tidigare år. Priserna för april månad år 2021 var i genomsnitt 11,79 kr/liter för diesel och 0,35 kr/kWh för el exklusive moms, vilket visar på att de nuvarande priserna är höga. Anledningen till att drivmedelspriserna är så pass höga just nu beror bland annat på att priset på råvaror till diesel är högt till följd av internationella konflikter (Transportföretagen, 2022).

Genom att ändra priserna för el och diesel gjordes en ny kostnadskalkyl med 10 stycken el- respektive diesellastbilar från Roma Grus verksamhet. Kalkylen redovisas i tabell 10 och visar att det första investeringsåret istället skulle bli 1 400 000 kr dyrare med en investering av ellastbilar jämfört med diesel samt en extra återbetalningstid på 1,6 år. Det skulle därmed gå snabbare att börja tjäna på ellastbilar med dagens drivmedelspriser jämfört med framtidens priser från Trafikverket. Detta tyder på att drivmedelspriserna spelar stor roll, och beroende på hur priserna svänger kan det innebära längre eller kortare återbetalningstid.

Tabell 10. Kostnadsskillnader mellan 10 diesel-respektive ellastbilar för år 2030 under första investeringsåret med aktuella drivmedelspriser. Negativa värden innebär en förlust vid investering av ellastbilar och vice versa.

År	Nuläge
Drivmedel	+ 2 600 000 kr
Arbets tid	- 160 000 kr
Laddinfrastruktur	- 1 500 000 kr
Fordonsinvestering	- 2 400 000 kr
Total kostnadsskillnad	- 1 400 000 kr
Extra återbetalningstid för en ellastbil	1,6 år

4.2 Elektrifiering av Gotlands tunga fordon

Nedan presenteras resultaten för en omfattande elektrifiering av Gotlands tunga transporter, vilket innefattar uppskattat energi- och effektbehov samt mängden växthusgasutsläpp.

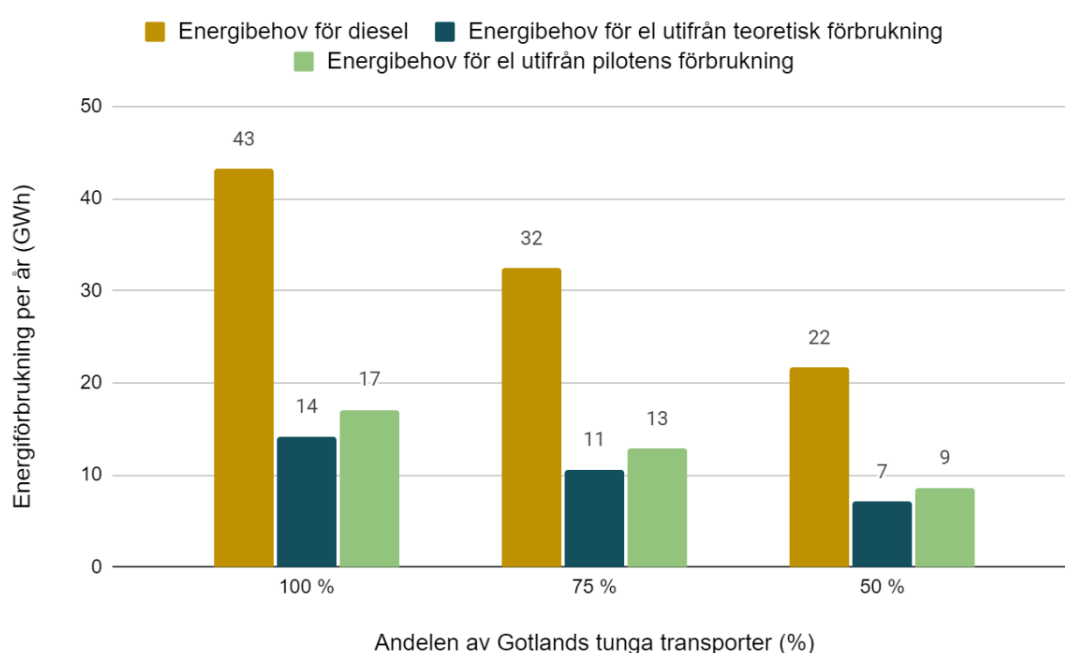
4.2.1 Energibehov

För att uppskatta energibehovet för användning av diesellastbilar respektive ellastbilar för tunga transporter på Gotland användes förbrukning per transportarbete med värden från tabell 11. Den teoretiskt översatta elförbrukningen var något lägre än ellastbilens förbrukning från pilotprojektet. Energiförbrukningen per transportarbete för diesellastbilen var markant högre, vilket är rimligt eftersom en diesel inte ska vara lika energieffektiv som el. I en rapport utgiven av den Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien (2002) antogs en medeltung lastbil, med lastförmåga på 14 ton och 50 procent fyllnadsgrad, ha en förbrukning på 0,52 kWh/tonkm, vilket var snarlikt resultaten från Roma Grus lastbil som därmed kan antas vara rimliga. Energiförbrukningen per transportarbete utgick från lastbilarnas energiförbrukning per kilometer, vilka redovisas i Appendix B.

Tabell 11. Elförbrukningen per tonkm för pilotprojektet respektive Roma Grus lastbil.

Parameter	Värde
Elförbrukning från pilotprojektet	0,20 kWh/tonkm
Elförbrukning översatt teoretiskt från Roma Grus lastbil	0,16 kWh/tonkm
Energiförbrukning för diesel från Roma Grus lastbil	0,50 kWh/tonkm

Figur 14 beskriver det årliga energibehovet som krävs för Gotlands tunga transporter. Energiförbrukningen är både baserat på de två olika elförbrukningarna samt det motsvarande energibehovet för diesellastbilar.



Figur 14. Energiförbrukningen för användning av el- respektive diesellastbilar för tunga transporter på Gotland under ett år.

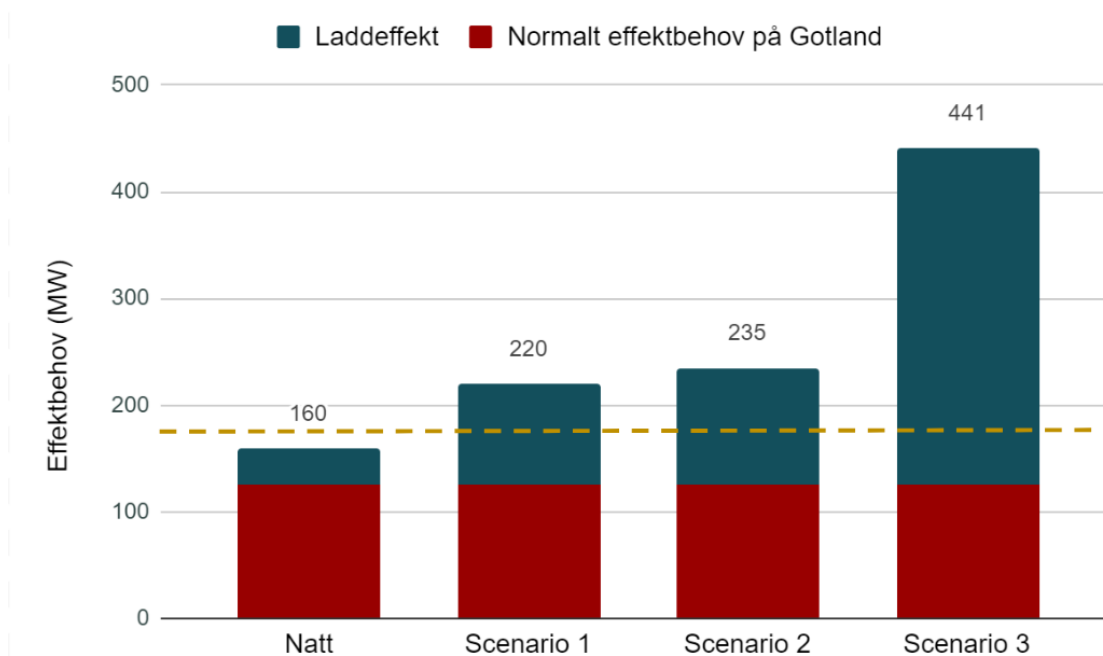
Utifrån diagrammet är det tydligt att energibehovet för användning av diesel är betydligt högre än för el. För en total elektrifiering är energibehovet för el ungefär 67 procent lägre än för diesel. Energiförbrukningen för el utifrån teoretisk och praktisk beräkning är ungefär samma för de olika förbrukningarna, vilket gör att teoretiska beräkningar av en lastbil kan appliceras relativt väl på verkliga fall.

Den totala energiförbrukningen på Gotland är cirka 900 GWh (Statistiska Centralbyrån, 2021), vilket innebär att energibehovet från att elektrifiera tunga transporter som högst skulle motsvara cirka två procent av dagens förbrukning. Det ökade elbehovet skulle troligen inte vara något problem, utan elen skulle räcka och i detta syfte skulle en tredje kabel för elimport till ön inte vara nödvändig. Enligt Sweco (2020) är den årliga

elproduktionen på Gotland cirka 500 GWh. För att hantera en total elektrifiering utan ökad import, krävs en tre procents ökning av produktionen. För att uppnå detta krävs det att Gotland fullföljer sina planer om att utveckla vindkraften (Sweco, 2020).

4.2.2 Effektbehov

Utöver energibehovet har även effektbehovet från elektrifierade tunga lastbilar på Gotland undersökts för att avgöra om elnätet har kapaciteten som krävs för en energiomställning. Detta har gjorts för samtliga scenarion utifrån olika laddeffekter för snabbladdning samt för normalladdning under natten. Effektbehovet för normalladdning under natten och snabbladdning för Scenario 1, grundar sig i ett antagande om att samtliga tunga fordon behöver laddas under samma tidpunkt. För Scenario 2 och 3 antogs hälften av fordonen behöva snabbladdning under dagen eftersom batterikapaciteten för scenarierna var högre. Viktigt att notera är att det uppskattade effektbehovet är baserat på att alla lastbilar som behöver laddning laddar samtidigt, vilket gör resultatet till det värsta möjliga utfallet. Troligen kommer laddning istället ske fördelat över dagen. I Scenario 2 och 3 antas endast de regionala lastbilarna ladda samtidigt, då lokala transporter antas klara sig utan laddning. Fördelningen mellan lokala och regionala lastbilar antas då vara lika stora, och det bör tas i åtanke att detta nödvändigtvis inte stämmer överens med verkligheten. Det uppskattade effektbehovet tillsammans med normala samt maximala effektförbrukningen på Gotland presenteras i figur 15.



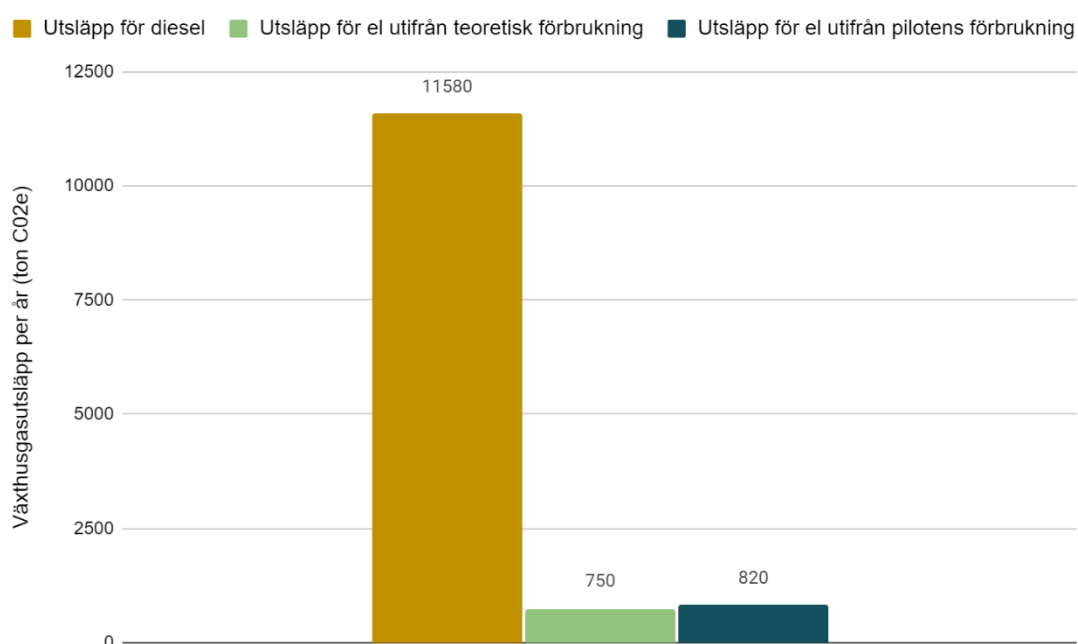
Figur 15. Effektbehovet för eldrivna tunga transporter genom normalladdning under natten och snabbladdning tillsammans med det normala effektbehovet på Gotland och kapacitetsgränsen 180 MW.

Diagrammet inkluderar det normala effektbehovet på Gotland för att få en mer realistisk bild av det totala effektbehovet. Troligen är det normala effektbehovet lägre under natten och kan även vara högre under dagen vid peak-timmar.

Utifrån resultatet är det endast normalladdning med 50 kW under natten som hade varit genomförbart med avseende på kapacitetsgränsen på 180 MW, som avser Gotlands maximala effektförbrukning i dagsläget och är i figuren markerad med en streckad gul linje. Samtliga scenarion, till och med Scenario 1 som avser snabbladdning med 150 kW, överstiger elnätets kapacitet tillsammans med det normala effektbehovet. För Scenario 3, med laddeffekt på 1 MW, hade effektbehovet krävt mer än den dubbla kapaciteten som finns idag. Resultatet indikerar att effektbehovet och kapacitetsbristen kommer att vara en stor utmaning i elektrifieringsprocessen och för att laddningen ska vara möjlig krävs en stor anpassning. Redan nu är kapaciteten ett problem på ön, då detta bland annat hämmar en utökad elproduktion av vindkraft (Energimarknadsinspektionen, 2020). I dagsläget pågår dock en nätutredning för att utveckla elnätet på Gotland (Svenska kraftnät, 2021), men för att uppnå snabbladdningar med hög effekt för en större del av fordonsflottan krävs en gedigen planering och flexibilitet kring när fordonen laddas.

4.2.3 Utsläpp

Växthusgasutsläpp från godstransporter inom Gotland beräknades både för diesel och el som drivmedel för ett år baserat på totala transportarbetet för tunga lastbilar under år 2020. Resultatet presenteras i figur 16, och inkluderar utsläpp från diesel samt från el baserat både på teoretisk elförbrukning och förbrukning för pilotprojektets ellastbil.



Figur 16. Utsläpp av koldioxidekvivalenter från tunga godstransporter inom Gotland med diesel- respektive ellastbilar.

Växthusgasutsläppen från tunga transporter på Gotland uppgår till cirka 11 580 ton koldioxidekvivalenter per år om diesel används som drivmedel. Enligt SMHI (u.å) motsvarade tunga transporter ungefär 15 000 ton koldioxidekvivalenter år 2019. Med detta i åtanke, visar resultaten att utsläppen har minskat med 26 procent mellan år 2019 och 2020. Dock är studiens beräkning av utsläppen baserad på en genomsnittlig förbrukning för en specifik lastbil, och i verkligheten varierar förbrukningen för de gotländska transporterna, vilket påverkar mängden utsläpp. Utsläppen som baseras utifrån teoretisk och praktisk elförbrukning skiljer sig minimalt från varandra, eftersom beräkningen grundar sig på liknande förbrukning per transportarbete.

Enligt resultaten skulle en elektrifiering kunna innebära cirka 93 procents minskning av utsläppen från Gotlands tunga transporter under ett år. Transportsektorn behöver enligt Sveriges klimatmål minska utsläppen med 72 procent mellan år 1990 och 2030 (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2019), och för att uppnå detta är elektrifiering av tunga transporter en bit på vägen. Dock motsvarade tunga transporter endast cirka åtta procent av utsläppen från transportsektorn år 2019 (SMHI, u.å). Detta gör att en reducering av utsläppen för tunga transporter är en bidragande faktor, men för att nå klimatmålen behövs även omfattande utsläppsminskningar från övriga transportsektorn. Utöver minskade utsläpp, hade elektrifieringen av tunga transporter dessutom ökat andelen förnybart inom transportsektorn, som i dagsläget är väldigt låg (Länsstyrelsen i Gotlands län, 2019).

5. Diskussion

Detta kapitel inkluderar en diskussion både kring resultatet utifrån fallstudien och potentialen för en mer omfattande elektrifiering av Gotlands tunga transporter med förslag på vidare och mer djupgående studier.

5.1 Realisering av eldrivna fordon på arbetsplatser

Utifrån resultaten från fallstudien för Roma Grus finns det flera lärdomar som går att nyttja i utvecklingen av eldrivna fordon på arbetsplatser. En ellastbil har framför allt fördelen att den är nästintill fossilfri och producerar minimala utsläpp till skillnad från ett dieseldrivet fordon. Till skillnad mot en diesellastbil utsätts inte heller föraren för några avgaser i samband med lastning. Samtidigt är ellastbilen fördelaktig då den är tystlåten och bekväm att köra. Det som förhindrar för implementeringen av ellastbilar är inte ellastbilen i sin körform, utan konsekvenserna av det höga laddbehovet. Då regionala transporter kör en sträcka omkring 300–400 km blir behovet av laddning relativt högt. Idag finns inte tillräckligt utvecklad teknik för att snabba på laddningen i den takt det behövs, och batterier behöver också bli större för att möjliggöra mer nattladdning vid depån. Enligt Power Circle (2021) förväntas semi-publik snabbbladdning uppgå till högre effekter på 150 kW. För det minsta batteriet som antas i Scenario 1 hade detta inneburit en fulladdning på 64 minuter, vilket är längre tid än vad de flesta åkerier vanligtvis har åsidosatt som rast. Effekten för snabbbladdning hade därmed behövt vara ännu högre i framtiden för att underlätta åkeriernas verksamheter.

Eftersom ellastbilar fortfarande är väldigt nya på marknaden finns inte heller en utvecklad infrastruktur att tillgå för publik eller semi-publik laddning. Det innebär att fordonen blir beroende av att samtlig laddning utförs vid depån. I Roma Grus fall är detta inte möjligt eftersom de kör till olika destinationer med olika avstånd. Om laddinfrastrukturen för tunga fordon skulle byggas ut skulle det möjliggöra eldrivna transporter för ett företag som Roma Grus. Det förutsätter dock att laddningen utförs effektiv under planerad rast och vid tillfällen då laddstationer finns närmast tillgängliga. Optimering och anpassning utifrån laddning är lättare sagt än gjort, och för att göra det krävs en detaljerad insikt i lastbilarnas körscheman samt kartläggning över vilka laddplatser som är bäst lämpade i förhållande till var lastbilarna befinner sig. För att kunna möjliggöra en passande laddinfrastruktur krävs även en undersökning kring zoner där laddstationer skulle bli som mest utnyttjade. I framtida studier hade det varit intressant att studera hur laddstationer hade kunnat placeras utifrån trafikflödet på Gotland genom att identifiera kluster där lastbilar ofta stannar. I samband med detta hade det också varit relevant att undersöka hur många laddstationer som hade krävts i takt med energiomställningen.

Utifrån det underlag som redan finns att tillgå är trafikflödet för tunga lastbilar på Gotland störst på fyra länsvägar, och öns hamnar samt flygplatsen utgör de viktigaste logistikområdena för hämtning och avlastning av gods. Samtliga områden avser platser

med potential för laddstationer vilket hade förenklat etableringen av ellastbilar. Det kommer dock ta tid innan eldrivna fordon kommer kunna motsvara dieslbilars åtkomlighet till drivmedel, och det krävs för tillfället att fordonets vardagliga körsträcka är optimalt anpassat till batterikapaciteten för att ellastbilar skulle kunna vara ett alternativ i företagsverksamheter.

Eftersom möjligheten till laddning i dagsläget är begränsad, är det även väsentligt att undersöka hur en större elektrifiering ska påbörjas. I denna studie undersöks en övergång till eldrift av samtliga tunga lastbilar från Roma Grus verksamhet som kört under 2021, utan att ta hänsyn till skillnader i transporterna och typen av lastbil. I verkligheten hade det varit rimligt att göra ett urval kring vilka lastbilar som anses mest lämpliga att elektrifiera. Urvalet bör grunda sig i vilka lastbilar som kör korta sträckor, med mindre lastvikt och med minst variation gällande destinationer. Det hade dessutom varit intressant att undersöka vilka av verksamhetens körningar som hade varit bäst lämpade för en ellastbil baserat på sträcka och destination, samt testa studiens modell utifrån dessa förutsättningar för att se vilka skillnader en mer optimal elektrifiering kan medföra.

Vid elektrifiering är det viktigt att anpassa fordonet till verksamhetens körmönster för att uppnå ett lyckat resultat. Det kan ses i Ecoloops andra projekt där en ellastbil testas i Norra Djurgårdsstaden, där anpassningen till eldrift inte varit lika utmanande som för Roma Grus. Fordonet har haft högre batterikapacitet och kört kortare sträckor, vilket gjort att behovet av snabbladdning inte varit lika stort (Johansson et al., 2022). Denna framgång fanns även i projektet Dencity, där en ellastbil med en batterikapacitet på endast 150 kWh testades. Trots att den korta räckvidden krävde anpassning av körmönstret, fungerade det bra att använda fordonet i verksamheten eftersom den inte inkluderar långa sträckor (Triplef, 2021).

Projektens framgång visar på vikten av att dimensionera batterikapacitet och laddeffekt för transporterna, och även utreda vilka verksamheter som är bäst lämpade för en omställning till eldrift. Utredning av verksamheten samt anpassningen av fordonet till dess körmönster är en fördel redan vid pilotprojekt för att transportföretagen ska få en positiv upplevelse av eldrift och motiveras till vidare elektrifiering av verksamheten. Dessutom kan lyckade projekt bidra till att andra verksamheter får ett större intresse för omställning till eldrift. Då ellastbilar fortfarande är nytt och relativt obekänt finns det troligen en oro bland transportföretagen, och deras syn på elektrifiering är avgörande för omställningen.

Projektet hos Roma Grus har haft en del tekniska utmaningar vilket har förhindrat ellastbilen att köra alla dagar som testperioden innefattade. I studien beräknades därför elförbrukningen per transportarbete endast baserat på 36 körningar från pilotprojektets ellastbil, vilket bara innefattar några dagars körningar. Samtidigt var dieslbilen från Roma Grus som den teoretiska förbrukningen per transportarbete baserades på, ny i verksamheten vilket gjorde att beräkningen även där baserades på en liten datamängd, cirka en månads körningar. För vidare studier hade det därför varit givande att samla in

mer data för att kunna studera förbrukningarna utifrån ett helt års körningar. Då hade det varit möjligt att få med hur årsvariationer kan påverka lastbilarnas förbrukningar samt hur ellastbilens batteri skulle ha påverkats av kyla och värme.

För att åkerier ska ställa om till eldrift är även kostnaden för elektrifieringen en avgörande faktor. I dagsläget är det väldigt dyrt att investera i ellastbilar, vilket även framgår i studiens kostnadskalkyl för Roma Grus. Detta gör att det krävs ett stort kapital samt stöd för både inköp av fordonet och infrastrukturen för att en mer omfattande elektrifiering ska vara genomförbar. I dessa fall spelar Energimyndigheten, i uppdrag av staten, en stor roll i att kunna finansiera företagen med bidrag. Eftersom investeringskostnaden är betydligt högre för en ellastbil än en diesellastbil, kommer återbetalningstiden vara längre trots lägre drivmedelskostnader. Känslighetsanalysen visar dock på att dagens höga dieselpriiser medför endast två års skillnad gällande återbetalningstid. Dessa priser kan vara en mer tillförlitlig prognos än framtida priser, även om prisvariationerna i framtiden kan bli stora.

För att göra en djupare analys av kostnaderna samt återbetalningstiden för de olika alternativen, behöver hänsyn tas till livslängden för en el- respektive diesellastbil samt den totala livscykelkostnaden. Enligt Transport & Environment (2021), som har jämfört hela livscykeln för ellastbilar och diesellastbilar, kommer de totala kostnaderna för fordonen bli likvärdiga redan under mitten på 2020-talet. Denna studie undersöker däremot inte hela livscykeln, och grundar sig endast i kostnaden för inköp av fordon och laddinfrastruktur samt drivmedel och extra arbetstid, vilket gör att ellastbilen framställs som ett dyrare alternativ. I ett livscykelperspektiv hade ellastbilen troligen varit fördelaktigt kostnadsmässigt på grund av lägre drivmedelskostnader, särskilt med höjd reduktionsplikt, och att den kräver mindre underhåll och service än en diesellastbil. Dock påverkas kostnaden även av livslängden på batteriet, men eftersom ellastbilar fortfarande är nytt finns det inte många tidigare studier inom ämnet.

5.2 Elektrifiering av Gotlands tunga fordon

Utifrån studiens beräkningar, kan en total elektrifiering av Gotlands tunga lastbilar minska energibehovet för transporterna med 67 procent. Detta indikerar att en elektrifiering är viktig för att reducera energianvändningen inom transportsektorn samtidigt som andelen förnybara drivmedel ökar, vilket är grundläggande för att klimatmålen ska nås. Personbilar utgör dock den största delen av transportsektorn på Gotland. Om studiens beräknade energibehov på 43 GWh för diesel jämförs med totala energianvändningen inom transportsektorn år 2015, motsvarar tunga lastbilar endast sju procent. Detta gör att implementeringen av framför allt elbilar blir en väsentlig del i energiomställningen av transportsektorn. Eftersom Gotland är bilberoende till hög grad och har flest personbilar per invånare i Sverige, är omställningen av elbilar särskilt relevant i länet.

Elektrifieringen av tunga transporter skulle även medföra en betydande minskning av växthusgasutsläppen inom transportsektorn. Eftersom alla godstransporter på ön sker

med lastbilar, som till majoriteten är dieseldrivna, är elektrifieringen av dem en viktig del i energiomställningen. För att nå klimatmålen krävs dock en mer omfattande elektrifiering av personbilarna. Likt energianvändningen, står tunga lastbilar endast för en låg andel av utsläppen inom transportsektorn i jämförelse mot personbilarna. Samtidigt står transportsektorn för cirka åtta procent av de totala utsläppen inom Gotland, vilket gör att det framför allt är viktigt att ställa om de större utsläppssektorerna för att nå de regionala klimatmålen, såsom industrin och jordbruket.

Då eldrivna fordon är väldigt energieffektiva, skulle energibehovet för elektrifierade transporter troligen vara förhållandevis lågt, vilket även studiens resultat tyder på. Troligen kommer inte en elektrifiering av Gotlands transporter medföra några större utmaningar för länets elproduktion och import. Dessutom har Gotland goda förutsättningar för att utveckla den egna elproduktionen, som redan planeras att utvecklas. Sverige har överlag möjlighet till en stor del egen förnybar elproduktion och producerar mer energi än vad som förbrukas, vilket gör att energibehovet inte heller kommer att vara ett hinder för en nationell elektrifiering av transportsektorn.

Däremot förväntas effektbehovet och kapacitetsbristen vara en stor utmaning, vilket även framgår tydligt från studiens resultat. Detta gör att elnätet måste anpassas och utvecklas, vilket dock är en lång process. Utredningen av Gotlands elförsörjning förväntas färdigställas inom 10 år. Detta medför att utvecklingen av tekniker såsom V2G-fordon, som kan användas för att avlasta nätet, kan bli avgörande för att påskynda elektrifieringen av transportsektorn. Kapacitetsbristen är en rådande utmaning även på andra platser i Sverige, och för att kunna möta den ökade etableringen av ellastbilar kommer det behövas både förstärkning och utbyggnad av elnäten i större omfattning.

För att analysera elektrifieringen av Gotlands tunga transporter mer detaljerat, hade det varit intressant att applicera den egenutvecklade modellen på samtliga transporter på ön. Detta hade gett mer kunskap kring fordonens laddningsbehov och körtider. Till en början var detta tänkt vara en del av denna studie men på grund av bristen av mer specifik data om länets transporter gick det inte att genomföra. Dessutom hade det varit intressanta att studera påverkan på elnätet ytterligare genom att jämföra transporternas körtider och effektbehov med timvis effektförbrukning på Gotland. Även detta var en önskad del i studien men fick uteslutas på grund av brist på data.

6. Slutsatser

Syftet med denna studie var delvis att undersöka implementeringen av tunga ellastbilar på arbetsplatser genom en fallstudie av åkeriet Roma Grus. Fallstudien inkluderade dels en utvärdering av ett pilotprojekt, där en ellastbil testades i verklig användning, samt en analys av åkeriets transporter baserat på eldrift. Pilotprojektet visade på stora utmaningar i åkeriers omställning till eldrift. Eftersom Roma Grus har utmanande körmönster begränsas verksamheten både av ellastbilens räckvidd och laddningstid, där förutsättningarna under pilotprojektet varit för låga. När det dessutom inte finns tillgång till etablerad laddinfrastruktur utanför depå, ställs större krav på ruttplanering för att användningen av ellastbilar ska vara realiserbar. I början av elektrifieringsprocessen är det därmed väsentligt att undersöka vilka fordon och transporter som är bäst lämpade för eldrift samt att anpassa fordonets batterikapacitet och laddmöjligheter för den aktuella verksamheten. Fördelarna med eldrift är många och pilotprojekt har möjligheten att framhäva dessa till sin spets för att ge ett positivt intryck till både den egna och andra åkeriers verksamheter.

En större elektrifiering av Roma Grus transporter skulle bidra till både minskat energibehov, drivmedelskostnader samt växthusgasutsläpp. Dock krävs en anpassning av körningarna för att kunna säkerställa liknande körtider som den nuvarande verksamheten. Dessutom är ellastbilar i dagsläget dyrare än deras fossildrivna motsvarigheter. Trots lägre drivmedelskostnader är återbetalningstiden för ett elfordon längre än för en dieselbil på grund av höga investeringskostnader. En elektrifiering förutsätter ett stort kapital, och i nuläget krävs troligen stöd för både inköp av fordon och laddinfrastruktur för att åkerier ska ställa om sin fordonsflotta.

Utöver Roma Grus, har studien även undersökt potentialen av en mer omfattande elektrifiering av Gotlands tunga transporter genom att jämföra länets energisystem med energi- och effektbehovet från en elektrifierad fordonsflotta. Dessutom har inverkan på mängden växthusgasutsläpp undersökts. En total elektrifiering av tunga transporter skulle endast öka energianvändningen motsvarande två procent av Gotlands nuvarande elförbrukning, vilket visar på att energibehovet inte skulle påverkas i högre grad. Effektbehovet kommer dock medföra en utmaning för elnätets kapacitet om en stor del av lastbilarna ska ladda samtidigt med hög effekt. För att undvika effekttoppar krävs det att lastbilarna anpassar sin laddning, men även en utveckling av elnätet. En elektrifiering skulle minska utsläppen från tunga transporter med 93 procent i jämförelse med diesel, men för att nå målen för transportsektorn är framför allt elektrifieringen av personbilar avgörande.

Denna studie visar på att elektrifieringen av tunga transporter är viktig för att ställa om till högre andel förnybart och minska utsläppen inom transportsektorn. Gotland har goda förutsättningar för elektrifiering men det är också en stor utmaning på grund av den nuvarande fordonsflottan samt bristen på laddinfrastruktur och kapacitet i elnätet, vilket även är ett problem på flera andra ställen i landet. För att en omfattande

elektrifiering av tunga transporterna ska vara realiserbar, krävs därmed en betydande utveckling av både laddinfrastruktur och elnätet. Detta förutsätter fortsatt samarbete och diskussion mellan relevanta aktörer samt kunskap från elektrifieringspiloter och andra studier.

Referenser

- ACEA (2021), Heavy-duty vehicles: Charging and refuelling infrastructure requirements. Tillgänglig online:
https://www.acea.auto/files/ACEA_Position_Paper-Heavy-duty_vehicles-Charging_and_refuelling_infrastructure.pdf
- BIL Sweden (2020), Färdplan för tunga fordon. Tillgänglig online:
https://mobilitysweden.se/storage/911D11A6A6AC80CAE38D0EF2A6DC9813E552289358D096FC7F1FA2AC02BF1676/643cb9f719ae4cad8bc3a64c45fa2732/pdf/media/68ec9c486d254c958fafc603007763ab/Fa%CC%88rdplan_Tunga%20fordon.pdf
- Boverket (2021), Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn. Tillgänglig online: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> (2022-05-27)
- E.ON (2022), Aktuella elpriser idag - vad ligger elpriset på just nu? Tillgänglig online: <https://www.eon.se/el/elpriser/aktuella#graf> (2022-05-06)
- Energimarknadsinspektionen (2020), Kapacitetsutmaningen i elnäten. Tillgänglig online:
https://www.regeringen.se/4afc14/contentassets/8d350a3c57644a9faf9ffe7678743961/eir2020_06_kapacitetsutmaningen-i-elnaten.pdf
- Energimyndigheten (2018), Smart och förnybart energisystem på Gotland. Tillgänglig online: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=104932>
- Energimyndigheten (2019), Energipilot Gotland - Färdplan för att möjliggöra att Gotland blir pilot för ett hållbart energisystem. Tillgänglig online:
https://www.energimyndigheten.se/globalassets/klimat--miljo/gotlandsuppdraget/energipilot-gotland-er-2019_09_webb.pdf
- Energimyndigheten (2020), Elfordon, laddfordon och laddning. Tillgänglig online:
<https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/transporter/energieffektiva-och-fossilfria-fordon-och-transporter/elfordon-och-laddning/> (2022-01-20)
- Energimyndigheten (2021a), Drivmedel 2020. Tillgänglig online:
<https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=203063>
- Energimyndigheten (2021b), Energiläget 2021 - en översikt. Tillgänglig online:
<https://www.energimyndigheten.se/statistik/energilaget/>
- Energimyndigheten (2021c), Reduktionsplikt. Tillgänglig online:
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/reduktionsplikt/> (2022-04-12)
- Energimyndigheten (2022), Sverige har överträffat målet om andel förnybar energi för 2020. Tillgänglig online:
<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2022/sverige-har-overtraffat-malet-om-andel-fornybar-energi-for-2020/> (2022-01-21)

- Europaparlamentet (2021), Faktablad om EU - 2021. Tillgänglig online:
https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/sv/FTU_2.4.9.pdf
- EU (2019), MEPs approve new CO2 emissions limits for trucks. Tillgänglig online:
<https://www.europarl.europa.eu/news/sv/press-room/20190412IPR39009/meps-approve-new-co2-emissions-limits-for-trucks> (2022-05-12)
- Fossilfritt Sverige (2020), Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Fordonsindustrin - tunga fordon. Tillgänglig online: https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2020/09/Fardplan_Tunga-fordon.pdf
- Grauers, A. (2020), Räkna med Anders!, workshop på temat "Det är kostnadseffektivt att köra ellastbil". Tillgänglig online:
<https://www.youtube.com/watch?v=9wFy8cXGr9c> (2022-01-21)
- Hayes, J. G. & Goodarzi, G. A. (2018), Electric Powertrain: Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles. John Wiley and Sons. Incorporated. Tillgänglig online:
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/uu/reader.action?docID=5148928&ppg=1>
- Johansson et al. (2022) (kommande), "Med utsikt från förarplatsen - hur fungerar elfordon i systemet?", projekt finansierat av Energimyndigheten dnr 51461-1.
- Karlström, M. (2020), Kunskapssammanställning stationär laddning till tunga lastbilar. Lindholmen Science Park. Tillgänglig online:
https://www.trafikverket.se/contentassets/f1e0a794d4ba4a5d8bf27fd58ed2d23a/kunskapssammanstallning_trafikverket_final.pdf
- Konsumenternas Energimarknadsbyrå (2022), Elpriser - Prognos och utveckling. Tillgänglig online: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elpriser-statistik/elpriser-prognos-och-utveckling/> (2022-05-06)
- Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien (2002), Energianvändning i transportsektorn. Tillgänglig online:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj8H72Mr3AhXYQ_EDHb_xAk84ChAWegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fenergimyndigheten.a-w2m.se%2FFolderContents.mvc%2FDownload%3FResourceId%3D103800&usg=AOvVaw1LxUaVA7_ifng3OCYOfWw8
- Liimatainen, H., Vliet, O. & Aplyn, D. (2019), The Potential of Electric Trucks - an International Commodity-level Analysis. Applied Energy: 236 p. 804-814.
Tillgänglig online: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017>
- Lynn, A. (2020), Electric power take-off heralds a revolution in mobile machinery. Tillgänglig online: <https://www.electronicsspecifier.com/industries/industrial/electric-power-take-off-heralds-a-revolution-in-mobile-machinery> (2022-05-02)
- Länsstyrelsen i Gotlands län (u.å), Hållbara transporter. Tillgänglig online:
<https://www.lansstyrelsen.se/gotland/miljo-och-vatten/energi-och-klimat/hallbara-transporter.html> (2022-05-13)

- Länsstyrelsen i Gotlands län (2018), Energiläget 2017. Tillgänglig online:
https://catalog.lansstyrelsen.se/store/30/resource/2018_3
- Länsstyrelsen i Gotlands län (2019), Tillsammans mot 2030 - En energi- och klimatstrategi för Gotland. Tillgänglig online:
https://www.lansstyrelsen.se/download/18.1e9f682716e44cbf6f517ad5/1573541879908/Rapport_A4_2019_Energi-%20och%20klimatstrategi_signerad.pdf
- Länsstyrelsen i Gotlands län (2020), Infrastruktur för elfordon och förnybara drivmedel. Tillgänglig online:
https://www.lansstyrelsen.se/download/18.7c20151716faf01e296e779/1580673735107/Gotland%202019_Plan%20f%C3%B6r%20arbetet%20med%20infrastruktur%20f%C3%B6r%20elfordon%20och%20f%C3%B6rnybara%20drivmedel.pdf
- Mareev, I., Becker, J. & Sauer, D.U. (2018), Battery Dimensioning and Life Cycle Costs Analysis for a Heavy-Duty Truck Considering the Requirements of Long-Haul Transportation. *Energies*. 11, 55. Tillgänglig online:
<https://doi.org/10.3390/en11010055>
- Naturvårdsverket (u.å, a), Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser. Tillgänglig online: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/> (2022-01-20)
- Naturvårdsverket (u.å, b), Klimatet och transporterna. Tillgänglig online:
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-transporterna/> (2022-01-19)
- Nyteknik (2019), Här är Sveriges första snabbbladdare för lastbilar. Tillgänglig online:
<https://www.nyteknik.se/fordon/har-ar-sveriges-forsta-snabbbladdare-for-lastbilar-6960839> (2022-01-19)
- Power Circle (2021), Elektrifiering och laddning av tunga transporter. Tillgänglig online: <https://powercircle.org/elektrifieradelastbilar.pdf>
- Power Circle (2022), Sveriges nationella statistik för elbilar och laddinfrastruktur. Tillgänglig online: <https://www.elbilsstatistik.se/>
- Regeringen (2020), Elektrifieringskommissionens uppdrag. Tillgänglig online:
<https://www.regeringen.se/49802b/contentassets/a0a96f3bac704d8baeeacf8ebdc414/elektrifieringskommissionens-uppdrag.pdf>
- Regeringen (2021), Elektrifieringslöften - kraftsamling för elektrifiering av regionala godstransporter från norr till söder. Tillgänglig online:
<https://www.regeringen.se/49c935/contentassets/be6>
- Regeringen (2022), Kartläggning av nätkapacitet för tunga lastbils laddbehov. Tillgänglig online: <https://www.regeringen.se/artiklar/2022/04/kartlaggning-av-natkapacitet-for-tunga-lastbils-laddbehov/> (2022-04-11)

- Regeringskansliet (u.å), Transportsektorn stället om för klimatet. Tillgänglig online: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transportsektorn-staller-om-for-klimatet/> (2022-05-11)
- Regeringskansliet (2022), 550 miljoner kronor till elektrifiering av tunga transporter. Tillgänglig online: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/02/550-miljoner-kronor-till-elektrifiering-av-tunga-transporter/> (2022-04-19)
- Regionförbundet Örebro (2013), Godsflöden i östra mellansverige. Tillgänglig online: https://www.malardalsradet.se/wp-content/uploads/2017/03/gotland_slutlig.pdf
- Scania (2021a), Wibax kör 64-tons el-lastbil från Scania. Tillgänglig online: <https://www.scania.com/se/sv/home/newsroom/news/2021/wibax-kor-64-tons-el-lastbil-fran-scania.html> (2022-02-09)
- Scania (2021b), Elektrifiering. Tillgänglig online: <https://www.scania.com/se/sv/home/products/attributes/electrification.html> (2022-04-06)
- SMHI (u.å). Nationella emissionsdatabasen. Tillgänglig online: <https://nationellaemissionsdatabasen.smhi.se/> (2022-05-14)
- Statistiska Centralbyrån (2021), El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2020. Tillgänglig online: https://www.scb.se/contentassets/6f9dcff961bf4b2981ea8b4058ad711f/en0105_2020a01_sm_en11sm2101.pdf
- Svenska kraftnät (2021), Svenska kraftnät initierar nätutredning om elförsörjningen till Gotland. Tillgänglig online: <https://www.svk.se/press-och-nyheter/press/svenska-kraftnat-initierar-natutredning-om-elforsorjningen-till-gotland---3293530/> (2022-04-16)
- Sveriges miljömål (u.å). Utsläpp av klimatpåverkande gaser i Gotlands län. Tillgänglig online: <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/begransad-klimatpaverkan/klimatpaverkande-utslapp/gotlands-lan/> (2022-04-14)
- Sweco (2020), Elektrifiering av Sveriges transportsektor. Tillgänglig online: https://www.svensktnaringsliv.se/material/rapporter/afe0c9_elektrifiering-av-sveriges-transportsektorpdf_1140277.html/Elektrifiering+av+Sveriges+transportsektor.pdf
- Tanka (u.å), Prishistorik. Tillgänglig online: <https://tanka.se/prishistorik> (2022-05-06)
- Trafikanalys (u.å), Fordon på väg. Tillgänglig online: <https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon/?cw=1&q=t10023|ar:2021|itrfslut|drivmedel|fslagh:23|reglan:09~standardtable> (2022-04-11)
- Trafikanalys (2021a), Lastbilstrafik 2020. Tillgänglig online: <https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/lastbilstrafik/2020/lastbilstrafik-2020.pdf>

- Trafikanalys (2021b), Transportarbete. Tillgänglig online:
<https://www.trafa.se/ovrig/transportarbete/> (2022-04-12)
- Trafikverket (2021a), Behov av laddinfrastruktur för snabbaddning av tunga fordon längs större vägar. Tillgänglig online: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524340/FULLTEXT01.pdf>
- Trafikverket (2021b), Vägtrafikens utsläpp 2020. Tillgänglig online:
<https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/nyhetsarkiv/vag/pm-vagtrafikens-utslapp-210224.pdf>
- Transport & Environment (2021), How to decarbonise long-haul trucking in Germany. Tillgänglig online: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2021_04_TE_how_to_decarbonise_long_haul_trucking_in_Germany_final.pdf
- Transportföretagen (2022), Fördjupning: Sverige världsmästare i dieselpriis. Tillgänglig online: <https://www.transportforetagen.se/nyhetslista/2022/februari/sverige-varldsmastare-i-dieselpriis/> (2022-05-20)
- Triplef (2021), Laddinfrastrukturlösningar för elektrifierad distribution av dagligvaror. Tillgänglig online:
<https://acrobat.adobe.com/link/track?uri=urn:aaid:scds:US:98d04b9e-f997-4337-b93a-4d75f51c283a>
- Vattenfall (2018), Förstudie Gotland - Förbättrad leveranssäkerhet och ökad kapacitet för ytterligare förnybar elproduktion. Tillgänglig online:
<https://www.energimyndigheten.se/globalassets/klimat--miljo/gotlandsuppdraget/vattenfalls-forstudie-gotland.pdf>
- Vattenfall (2020), Vattenfall bygger unikt batterilager i Uppsala. Tillgänglig online:
<https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2020/vattenfall-bygger-unikt-batterilager-i- uppsala> (2022-05-20)
- Vattenfall (2021), Eldriven tung lastbil utmanar arktiskt klimat. Tillgänglig online:
<https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2021/eldriven-tung-lastbil-utmanar-arktiskt-klimat> (2022-02-09)
- Volvo (u.å, a), Eldrivna lastbilar. Tillgänglig online: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/trucks/trucks/alternative-fuels/electric-trucks.html> (2022-04-06)
- Volvo (u.å, b), Mildhybrider. Tillgänglig online: <https://www.volvocars.com/se/om-volvo/innovation/elektrifiering/mildhybrider> (2022-06-07)
- Volvo Lastvagnar (u.å), Volvo Connect. Tillgänglig online:
<https://www.volvotrucks.se/sv-se/services/volvo-connect.html> (2022-04-26)
- Zakrisson, W. (2021), Scania: Laddare till långtradare kommer behöva 1,2 GW effekt. Tillgänglig online: <https://www.montelnews.com/se/news/1279556/scania-laddare-till-l%C3%A5ngtradare-kommer-behva-12-gw-effekt> (2022-05-15)

Appendix A

Tabell 1. Dieselförbrukning och översatt elförbrukning för respektive lastbil.

Lastbil	Dieselförbrukning	Elförbrukning
Mathias	0,46 l/km	1,79 kWh/km
Mats	0,43 l/km	1,66 kWh/km
Strandberg	0,46 l/km	1,78 kWh/km
Jerry	0,50 l/km	1,95 kWh/km
Kurre	0,41 l/km	1,56 kWh/km
Håkan	0,49 l/km	1,87 kWh/km
Elias B	0,58 l/km	2,22 kWh/km
Elias K	0,54 l/km	2,07 kWh/km
Thord ⁵	0,49 l/km	1,88 kWh/km
Linus	0,51 l/km	1,98 kWh/km
Genomsnitt	0,49 l/km	1,88 kWh/km

⁵ För Thord används snittförbrukningen baserat på övriga lastbilar på grund av trasig mätare

Appendix B

Tabell 13. Övriga förbrukningar som användes i studien.

Parameter		Värde	
Elförbrukning från pilotprojektet	1,48 kWh/km		0,20 kWh/tonkm
Elförbrukning översatt teoretiskt från Roma Grus lastbil			0,16 kWh/tonkm
Dieselförbrukning för Roma Grus lastbil	0,52 l/km (med tomgång)	0,43 l/km (utan tomgång)	0,50 kWh/tonkm