

Elektriske affalds- lastbiler

Transportbranchens bidrag til den grønne omstilling

Morten Helms Brask, Lektor, El-installatøruddannelserne i Næstved

6. maj 2025

Indholdsfortegnelse

1	Abstract/resumé	3
2	Introduktion	3
2.1	Kontekst	3
2.2	Problemstilling	3
2.3	Forskningsspørgsmål	4
2.4	Afgrænsning	4
2.5	Værdi af projektet	5
3	Litteraturstudie og teori	5
3.1	Eksisterende viden om emnet	5
3.2	Projektets teoretiske og faglige vinkel	6
4	Metode	6
5	Resultater	7
5.1	Analyse af empiri	7
5.2	Analyse af ugedata	11
5.3	Krydskorrelationer på ugedata	15
5.4	Energiforbrug mod kørt længde	18
5.5	10 øverste korrelation	Fejl! Bogmærke er ikke defineret.
6	Diskussion	23
6.1	Konklusion	23
6.2	Hvad betyder resultaterne	23
6.3	Implikationer	23
6.4	Forskningens bidrag	23
6.5	Værdi af forskningsresultaterne	24
6.6	Perspektivering	24
7	Referencer	24

1 Abstract/resumé

I år 2018 besluttede Københavns kommune at affaldsindsamlingen skulle være elektrisk. Med beslutningen var der en stor mængde af logistik i forbindelse med skiftet fra fossil-drevne køretøjer til elektriske. Indkøb, ladeinfrastruktur, køremønstre og meget andet skulle overvejes og udbydes. Det fælles affaldsselskab ARC, der varetager håndteringen af affaldet for fem kommuner: Dragør, Frederiksberg, Hvidovre, København og Tårnby, fik opgaven med at indkøbe og drifte den elektriske affaldsindsamling. På det tidspunkt var der meget få elektriske lastbiler i Danmark og meget få affaldsbiler i det hele taget.

Denne rapport beskriver ud fra et elektrisk og energimæssigt perspektiv en analyse af hvorledes driften har været i perioden fra 2022 til primo 2025. Der har været store problemer med specielt ladeinfrastrukturen, hvor affaldsbilerne i en periode har været opladet med dieselgeneratorer.

Rapportens analyse fokuserer på om tæserne om specielt køretøjers energiforbrug, kan eftervises, samt om der vil være behov for en kontinuerlig overvågning af energiforbruget i forhold til fx at ændre adfærd.

Keywords: eRCV, eV, elektrisk lastbil, affald

2 Introduktion

2.1 Kontekst

Da Københavns kommune i år 2018 besluttede at affaldsindsamlingen skulle være elektrisk med elektriske affaldsbiler eRCVs - electric refuse collection vehicles, gik en masse undersøgelser i gang (ARC, 2024). Det blev det fælleskommunale affaldsselskab ARC, der sørger for affaldshåndteringen i fem Østsjællandske kommuner: Dragør, Frederiksberg, Hvidovre, København og Tårnby, der stod for den store opgave med at gennemføre og drifte projektet (ARC, 2025).

Zealand – Sjællands Erhvervsakademi kom ind i projektet ultimo 2021, dels på grund af nogle elektriske støjproblemer og udfordringerne med ladenetværket. Projektet har været en del af lektorkvalificeringen og har involveret undervisere på autoteknologer og elinstallatører. Projektets afrapportering sker i flere rapporter, hvor denne alene behandler de energimæssige betragtninger.

Da en analyse af køremønstre og adfærd kan være personhenførbare og derved skal behandles efter persondataforordningen GDPR er der mellem ARC og Zealand laves en samarbejdsaftale. Samarbejdsaftalen giver Zealand ret til at behandle data og publicere, såfremt det ikke kan relateres til personer eller køretøjer (ARC, 2022). Rapporten er forelagt ARC inden publicering til kommentarer.

2.2 Problemstilling

Når et projekt af denne størrelse skal gennemføres, er der en hel del logistik, der skal gennemføres, da ARC er en offentlig virksomhed, skal projektet sendes i udbud (ARC, 2021). De delprojekter som kunne være aktuelle til dette projekt kunne være:

- Etablering af arealerne og bygninger
- Ladeinfrastruktur
- Lastfordeling
- Køremønstre og kørestil
- Uddannelse af chauffører og kørselsledere

Disponering af arealerne kan have en indflydelse på hvorledes køretøjerne bliver placeret. Ladningen af køretøjerne kræver at man har tilstrækkeligt veldisponeret ladekabel og at man altid sætter ladekablet til inden man forlader køretøjet.

Ladeinfrastrukturen har en betydning for en stor del af økonomien ved et så stort projekt med elektriske lastbiler. Der skal være den tilgængelige strøm til opladning og der skal etableres transformerstationer, da disse effekter skal transporteres fra en hovedstation til mindre distributionstransformere.

Lastfordelingen kan betyde at ikke alle lastbiler kan lades på samme tid eller med fuld effekt. Hvis en bil ikke er ladet tilstrækkeligt op, når den skal benyttes, kan det betyde at den skal udskiftes eller i værste tilfælde løber tør for strøm under ruten. Hvis der ikke foretages en lastfordeling, så alle biler kan lade fuldt hele tiden, medfører det en forøget tilslutningsafgift.

Affaldsbiler har tre basale funktioner:

- Indsamling af affald
- Komprimering af affald
- Kørsel af det indsamlede affald til forbrænding eller genanvendelse

Indsamlingen af affald er typisk mange stop og løftning/tømning af spande/containere i affaldsrummet. Denne proces foregår normalt med lavere hastighed og foregår imellem bebyggelse på villaveje, i boligområder eller industriområder. Her vil specielt adfærden omkring kørestil betyde noget for energiforbruget.

Komprimering af affaldet sker ofte når operatøren mener at der er behov eller at affaldsrummet er fyldt. Det er ofte en vane, hvor tit denne operation udføres. Selve komprimering kræver en del tilført energi og vil således begrænse køretøjets aktionsradius.

Kørslen fra indsamlingsstederne til affaldsforbrændingens anlægget eller genanvendelse kan have betydning for den forbrugte energi, således vil en forøget hastighed eller store accelerationer betyde at energiforbruget øges. Bremsning med regenerering vil betyde et mindre energiforbrug end bremsning med fysiske bremsere.

Dataindsamlingen kan foregå med dataloggere monteret i køretøjet og monitoreres via flådestyringen. Hos ARC har man valgt ikke i første omgang at montere ekstra udstyr til datalogning, hvilket betyder en del mangler i ønskede dataparametre, bl.a. mangler informationer om aktivering af komprimeringen.

2.3 Forskningsspørgsmål

Problemstillingen kredser omkring, hvordan energien i de forskellige projekter bliver omsat, derfor kan hovedspørgsmålet lyde:

- Hvordan kan energiforbruget til elektriske affaldsbiler beskrives?

Dette forsøges beskrevet med følgende underspørgsmål:

- Hvordan ser opladningsprofilen ud?
- Hvor langt kan affaldsbilerne køre under normal drift på en kilowatt-time?

2.4 Afgrænsning

Denne rapport beskæftiger sig ikke med:

- Etablering af arealerne og bygninger
- Uddannelse af chauffører og kørselsledere

Rapporten beskæftiger sig ikke med det psykiske og fysiske arbejdsmiljø i skiftet fra fossil-drevne til elektrisk drevne køretøjer.

Denne rapport ser kun på bilerne som er fra firmaet Scania.

2.5 Værdi af projektet

Rapporten vil bidrage med viden om hvorledes elektriske affaldsbiler skal driftes og hvorledes man kan optimere denne drift med hensyn til et minimalt energiforbrug.

3 Litteraturstudie og teori

3.1 Eksisterende viden om emnet

Klimarådet skriver i en analyse at effektiviteten ved batteridrift er størst ved direkte drevne elektriske lastbiler (Klimarådet, 2021):

Batterilastbil	77 % (81 %)
Brintlastbil	33 % (42 %)
Diesellastbil på eFuel	23 % (29 %)
Gaslastbil på eMetan	22 % (28 %)

Tallene angiver effektiviteten i 2020 og tal i parentes er den forventede effektivitet i 2050. Set ud fra disse betragtninger er valget af elektriske affaldslastbiler et fornuftigt valg både nu og i fremtiden.

Kort efter projektet var startet lavede region Hovedstaden en oversigt over renovationskørsel på el, den beskriver at der var 31 skraldebiler i Danmark på daværende tidspunkt. Flere af bilerne var ombyggede til formålet og ikke standard køretøjer. Generelt var erfaringerne med skraldebilerne generelt positive (Østergaard, 2022)

Erfaringer fra Frederiksberg viste at lyden fra en elektrisk affaldsbil var væsentligt lavere end en dieselbil, således at dieselbilerne oftere virker forstyrrende i lydbilledet. Mængden af affald er oftere lidt mindre end dieselbilen, hvilket alene tilskrives lastevnen. Beregningerne har vist at dieselaaffaldsbilerne udleder dobbelt så meget CO₂ set i forhold til den elektriske udgave. Anskaffelsesprisen for en elektrisk affaldsbil er ca dobbelt så dyr som en konventionel dieselbil, men driftsomkostningerne er lidt lavere pr. ton affald (Wagner, 2016)

I 2018 var udbuddet af elektriske lastbiler ikke overvældende, så blev der af ARC valgt at benytte DC-ladere, som i modsætning til AC-ladere kommunikere væsentligt anderledes end DC-ladere. Der var væsentlig mindre tilslutningsstrøm end nødvendigt for at lade hurtigt, blev der primært benyttet mindre ladere på ca 24 kW (Brask, 2023). På grund af den begrænsede tilgængelighed af strøm, var det under opstarten nødvendigt at benytte dieselgeneratorer til at understøtte nettet (Skovlund, 2022).

Generelt er der blevet kraftigt udbygget på ladeinfrastrukturen, så elektriske lastbiler har en større mulighed for at oplades, dog understøtter 1. generation af ARCs affaldslastbiler ikke superhurtig opladning (RSH, 2025).

Batteriernes kapacitet er stærkt afhængig af specielt temperaturen (ADAC, 2021), hvorfor ARC har været opmærksom på dette og batterierne i affaldsbilerne er temperaturstabiliserede. Yderligere vil batterierne over tid miste kapacitet (Thingvad, Calearo, Andersen, & Marinelli, 2021). En af de store ukendte i forbindelse med elektriske affaldskøretøjer er at energien fra batterierne bliver brugt til to formål, dels fremdrift, som er almindelig kendt, hvor de hyppige stop, giver et forøget forbrug ved anvendelse af konventionelle bremsere og dels er der selv aggregatet som komprimerer affaldet (Song, 2020). Da ARC hjemtog affaldsindsamlingen har der ikke været data over tidligere forbrug.

Udbygningen af elektriske køretøjer har været rivende, specielt personbiler har skabt en enorm vækst. På de tunge køretøjer har udviklingen været mere langsommelig, da dels at behovet for ladeinfrastruktur har været vigtigt, men også batterikapaciteten har for mange applikationer været udfordret at rækkevidden har været begrænset (Ribberink, Wu, Lombardi, & Yang, 2021). Bestanden af elektriske lastbiler har ikke været voldsom i 2024

var der således 125 stk i Danmark, hvilket betyder at ARC-andel har været 70 % af lastbiler indregistreret (Rådet for grøn omstilling, 2024). Offentlige indkøb, som dette i ARC kan være med til at sætte standarden for elektriske lastbiler, hvilket betyder en betragtelig reduktion af CO₂ i byerne (Dansk E-mobilitet, 2022). Foruden en reduktion i CO₂ vil elektriske køretøjer også reducere mængden af NO_x (Montgomery, Schnell, Rogin, & Horton, 2021).

Vedligeholdelsen af elektriske lastbiler adskiller sig kun på et væsentligt punkt fra traditionelle køretøjer og maskiner, nemlig på batteriet på alle andre dele findes meget velprøvede metoder til genanvendelse og vedligehold. Batterierne indeholder en del for traditionelle maskiner usædvanlige materialer, som skal behandles korrekt. Der er i takt med den store stigning i elektriske personbiler, nu blevet en fremspirende forsyningskæde for genanvendelse af batterierne (Jing, Shah, Wang, & Guo, 2021)

Køremønstre kan analyseres ud fra to aspekter, for det første er kørt distance og for det andet er det anvendte energiforbrug. Den kørte distance er meget afhængig af ruteplanlægningen og ikke i scope for denne rapport. Det anvendte energiforbrug kan som oftest fordeles efter standard statiske fordelinger, herunder bl.a. normalfordeling (Plötz, Jakobsson, & Sprei, 2017).

Store lade stationer i MW-klassen vil kunne byde ind i markedet for systemydelser, hvor en pause i forbruget vil kunne bidrage til en forbedret økonomi i projektet. Effekten vil kunne bruges til at stabilisere net frekvensen ved ydelserne FCR-N og FCR-D (Divshali & Evens, 2021).

3.2 Projektets teoretiske og faglige vinkel

Rapporten antager at normale matematiske modeller og empiri omkring energiforbrug ved køretøjer i almindelighed ikke anfægtes eller dokumenteres i kilder. Således vil en forøget hastighed medfører et forøget energiforbrug og bremsning med mekaniske anordninger vil medføre et energitab (den helt korrekte formulering er at energien omsættes fra kinetisk energi til varme).

Rapporten vil vise om der er statistisk sandsynlighed for at en tendens eksisterer.

4 Metode

Datamaterialet bliver indsamlet via køretøjets ECU (electronic control unit) og disse data overføres til en database. Dataindsamlingen betegnes som kvantitativ sekundær empiri, hvilket betyder at der kan være en vis form for selektivitet af data, fx når køretøjet er til service.

Data kan fra ECU'en hentes i flere tidsopløsninger:

- Minut niveau
- Uge niveau
- Månedens niveau

Data bliver behandlet i to hovedgrupper, hvor der undersøges for korrelation mellem de forskellige datasæt.

Datasæt, som er klart udenfor sammenhæng, bliver udelukket i nærmere analyser, men indgår i de overordnede betragtninger.

5 Resultater

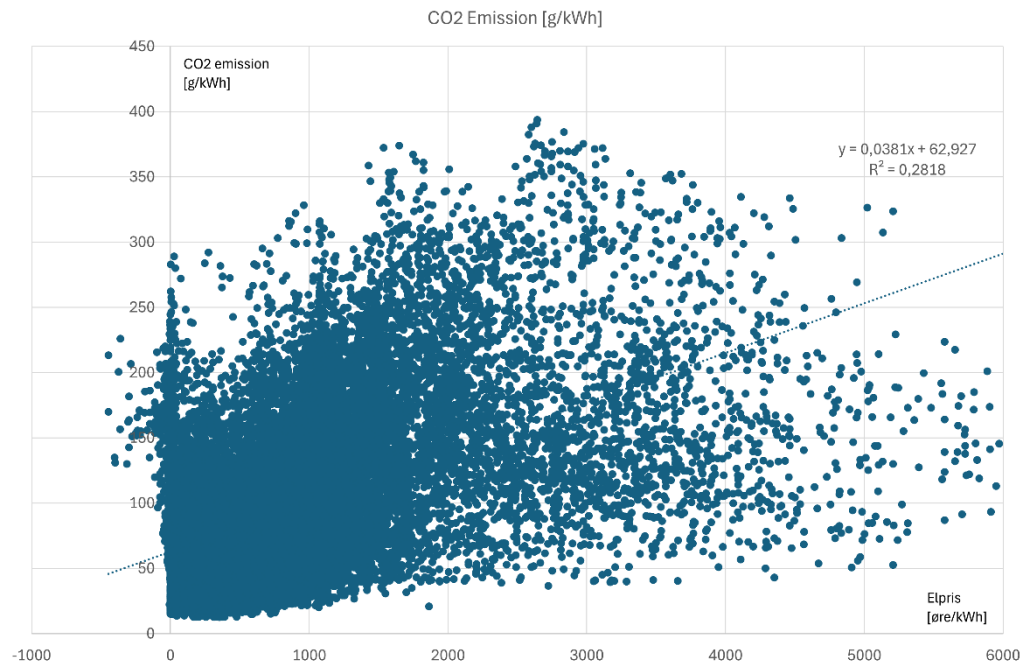
5.1 Analyse af empiri

Batteristørrelse for de elektriske affaldsbiler er opgivet til 324 kWh. Dette tal er benyttet til at beregne ladeeffekten for ladekurverne. Batterier vil generelt have en degenerering som følge af brug, men det er ikke taget ind i beregningerne.

Laderne er enten mindre 22 kW eller store hurtigludere på 50 kW til 100 kW. Helt store lynladere har været benyttet til opladninger i felten. Der var oprindeligt ikke tiltænkt at der skulle være lynladere på site, da tilgængeligheden af lynladere i driftsperiodens start (primo 2021) ikke var stor.

5.1.1 CO₂ emission

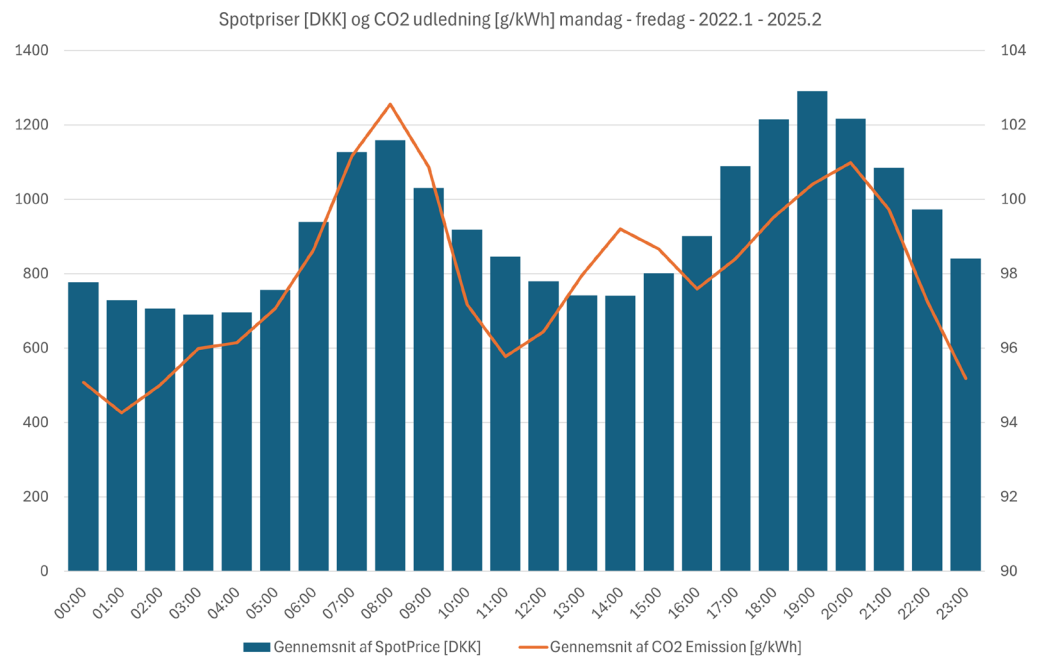
Et af målene med at benytte elektriske køretøjer er at reducere køretøjets CO₂ aftryk. Dette kan gøres ved at vælge perioder med lavt CO₂ emission til at lade. Udfordringerne med at lade med lavt CO₂ indhold eller lav elpris er at, der skal lades, uanset hvordan prisen eller CO₂ indholdet er. Som det ses på Figur 5.1 følger CO₂ emissionen og elprisen hinanden med en korrelation mellem CO₂ og elprisen jvf. data fra www.energidataservice.dk



Figur 5.1 Sammenhæng mellem CO₂ emission og elpris (DK2)

5.1.2 Elpriser

Da ladevinduet, hvor køretøjerne lader, ligger nogenlunde fast, da køretøjerne er i drift om morgenen og lader lidt om formiddagen og kører en eftermiddagstur (ARC, 2024). Når køretøjerne lader er det primært mandag til fredag, hvor elpriserne og CO₂ emissionen er vist i Figur 5.2. Dataudtræk er fra www.energidataservice.dk.

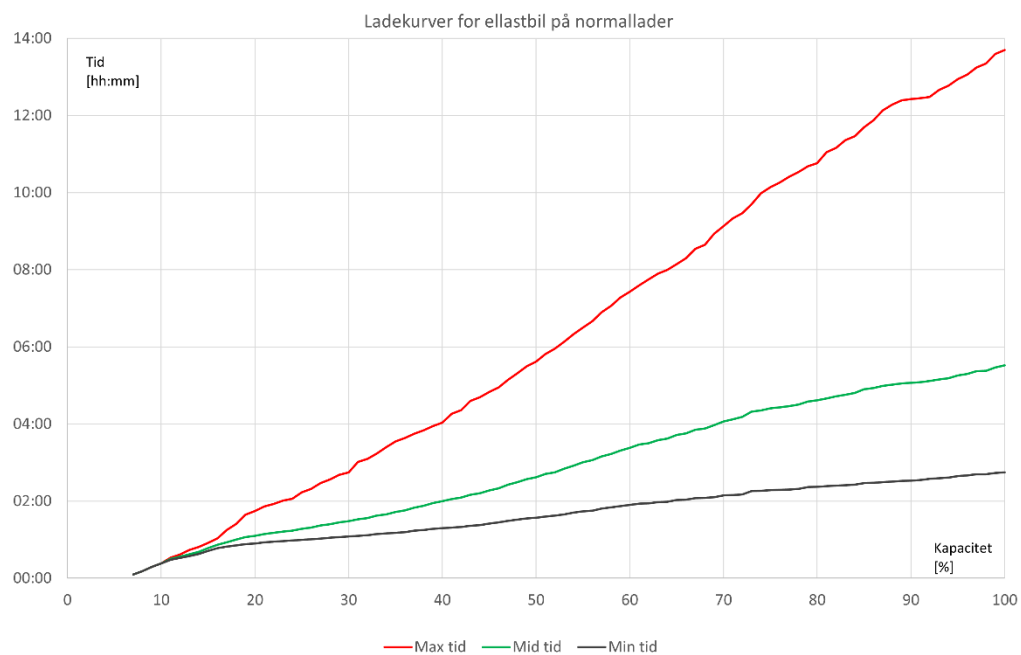


Figur 5.2 Spotpriser [DKK] og CO2 udledning [g/kWh] i hverdagen fra mandag til fredag i perioden fra 1. januar 2022 til 8. februar 2025

Det ses at priserne og CO₂ emissionen følges ad og det foreslåede ladevindue er der hvor elprisen er lavest.

5.1.3 Ladekurver

Ladekurven for en lastbil har været brugt til at beregning af ladetiden. Der har i projekteringsfase været brugt en direkte lineær sammenhæng mellem ladeeffekt og opladet niveau.

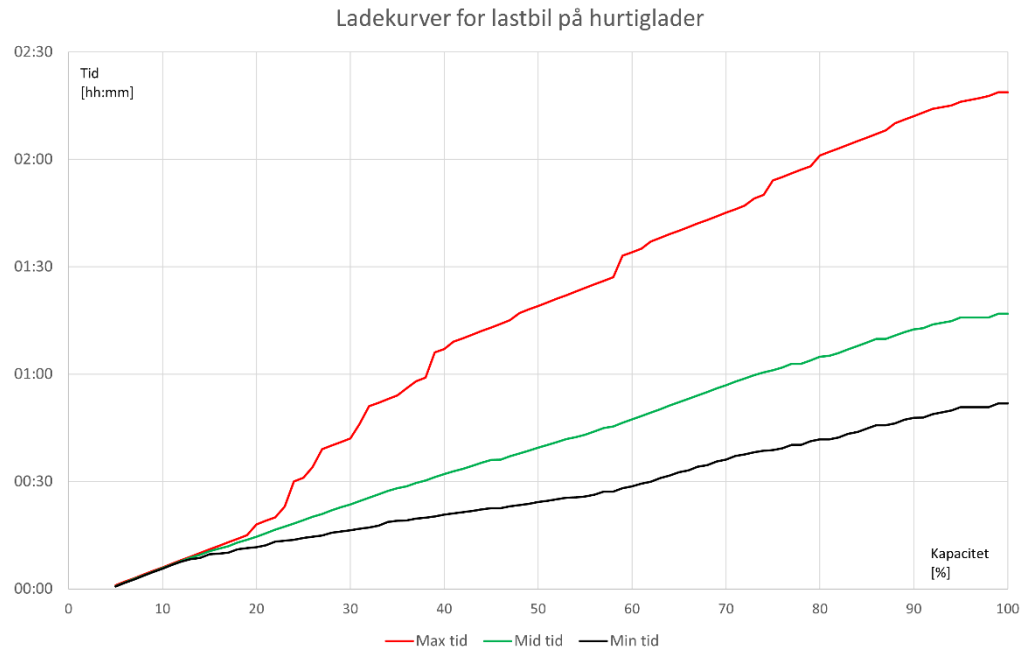


Figur 5.3 Ladekurve for en affaldsbil, der primært har benyttet den normale lader

	Ladetid [h]	Beregnet effekt [kW]	Linearitet
Minimum lader	13:30	24	99,5 %
Medium lader	05:30	59	99,5 %
Maksimum lader	03:45	86	98,7 %

Tabel 5.1 Oversigt over ladetider for normale lademønstre.

Som det ses på kurverne, er der lige lidt ulinearitet i starten af ladningen, hvilket er normalt for opladning af batterierne på elektriske køretøjer



Figur 5.4 Ladekurve for elektrisk affaldsbil, der primært har benyttet lynladere

	Ladetid [h]	Beregnet effekt [kW]	Linearitet
Minimum lader	02:18	141	98,4 %
Medium lader	01:16	256	99,8 %
Maksimum lader	00:51	380	99,2 %

Tabel 5.2 oversigt for hurtig opladning af køjertøj

5.1.4 Totale kørte distance og forbrug

Der er i den generelle analyse valgt at bruge data fra 2023 til uge 6 i 2025. Data fra 2022 har været præget af en del børnesygdomme og andre udfordringer, så det vil ikke være relevant at fokusere for meget på disse data (ARC, 2024). Tabel 5.3 Fordelingen af den årsbaseret samlede kørestrækning og samlede effektforbrug

viser den samlede kørestrækning og det samlede energiforbrug.

År	Samlet kørestrækning [km]	Samlet energiforbrug [kWh]	Energiforbrug pr kørt kilometer [kWh/km]
2023	969.148	1.999.678	2,06
2024	1.399.972	3.098.233	2,21
2025 indtil uge 6	151.246	435.366	2,88
Sum	2.520.366	5.533.277	2,20

Tabel 5.3 Fordelingen af den årsbaseret samlede kørestrækning og samlede effektforbrug

5.2 Analyse af ugedata

Scanias system kan levere data på ugeplan, der har følgende datapunkter for hvert køretøj:

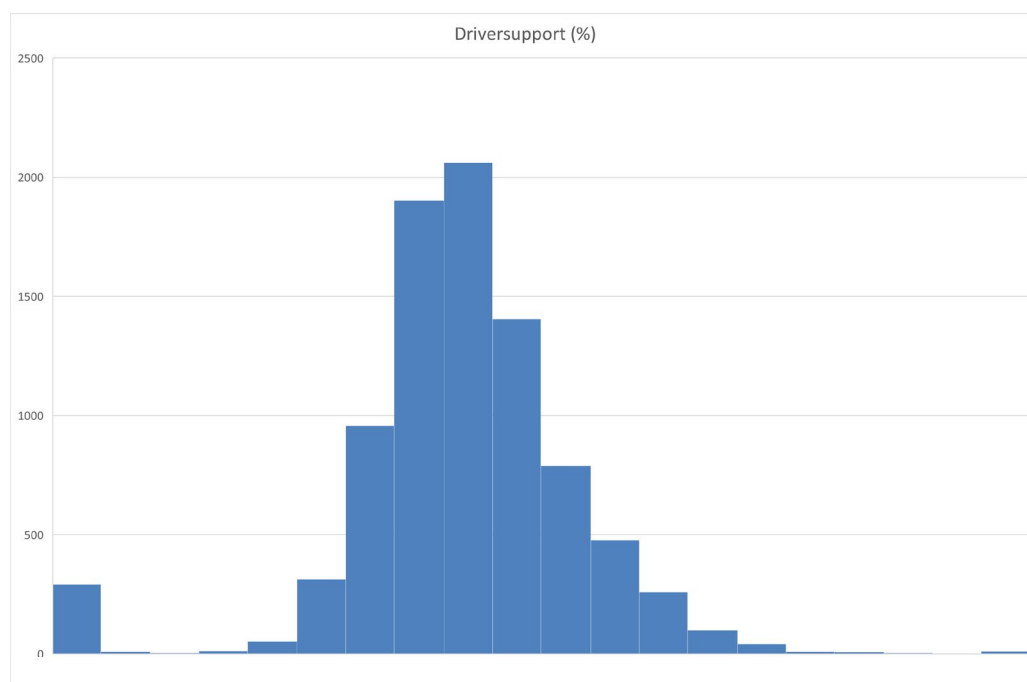
- Udstyr - nummerplade
- Start tid
- Slut tid
- Km-tæller (km)
- Strækning (km)
- Scania Driver Support (%)
- Tomgang (%)
- Hårde opbremsninger (antal pr. 100 km)
- Energiforbrug (kWh/100 km)

De fire første punkter laves der ikke dataanalyse af, da de ikke indeholder relevant information til denne analyse.

Hver af udføres en simpel statistisk analyse for at beregne om de indledende antagelser var korrekte.

5.2.1 Driversupport

Driversupporten viser hvor meget chaufføren bliver støttet af køretøjets software. Når der er stor driversupport, vil man forvente at man udnytter energien bedre. Figur 5.5 viser tallet af observationer (uger), hvor der har været den driversupport, der passer med intervallet.



Figur 5.5 Driversupport i procent. Y-aksen er antallet af observationer

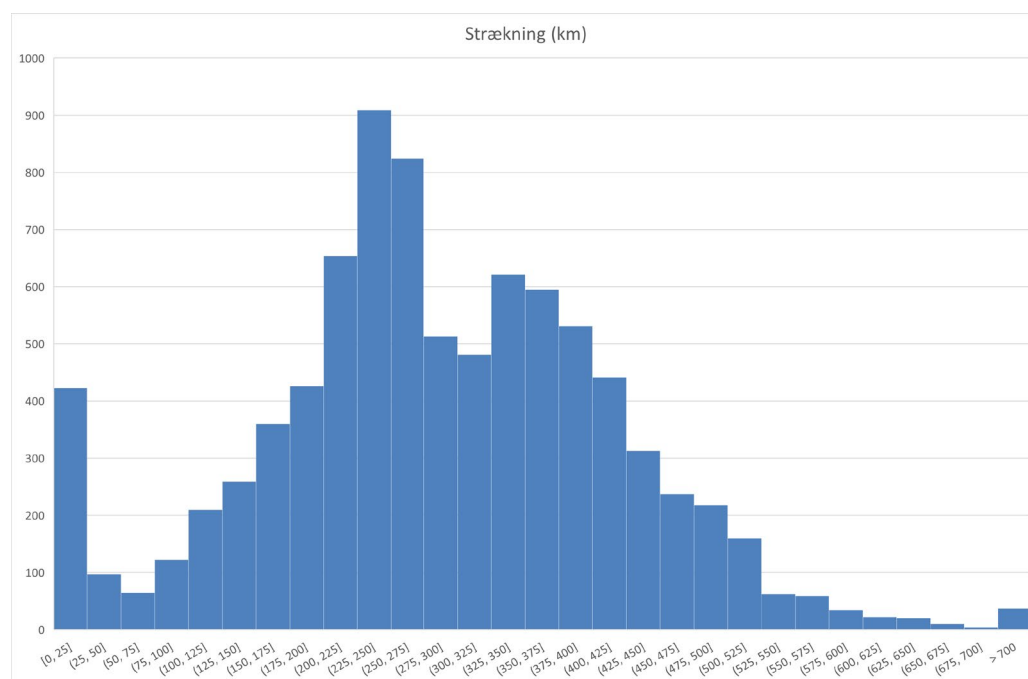
Ifølge Tabel 5.4 er gennemsnittet af førerassistancer 43,7 %. Tallet har ikke været et måltal, men beskriver at i lidt under halvdelen af kørslen, har fører været assisteret i kørslen.

Gennemsnittet	43,7	km
Minimum	0	km
Maksimum	100	km
Standardafvigelse	9,5	km

Tabel 5.4 viser gennemsnit, interval og standardafvigelsen for driversupporten

5.2.2 Strækning

Den kørte strækning er et udtryk for hvor meget køretøjet er anvendt. Under normale forhold vil det kræve mere energi at køre længere, men det kommer meget an på kørestil og ikke mindst hastighed. Figur 5.6 viser hvor langt affaldsbilerne har kørt på en uge. Interval-erne er opdelt i 25 km's intervaller.



Figur 5.6 Viser den kørte strækning for en uge, y-aksen viser antallet af observationer

Det ses af Tabel 5.5 at affaldsbilerne i gennemsnit kører 291 km pr uge og med en 5 dages arbejdsuge bliver det 68 km pr dag. Der er oprindeligt estimeret at der køres 71 km pr dag, så det tal er i overensstemmelse med det fundne. Standardafvigelsen er stor, hvilket betyder der er stor usikkerhed om hvor langt køretøjerne kører, således vil der være 68 % sandsynlighed for at den ugentlige kørsel er mellem 157 km og 425 km. Dette er forudsat at fordelingen kan betragtes som normalfordelt.

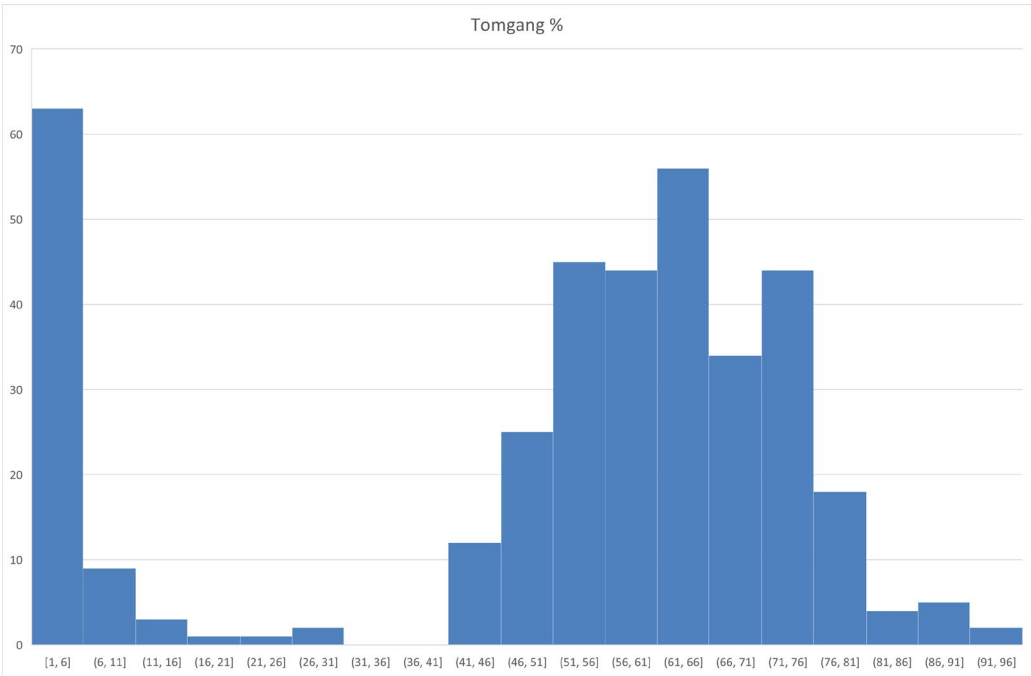
Gennemsnittet	291	km
---------------	-----	----

Minimum	0	km
Maksimum	2268	km
Standard afvigelse	134	km

Tabel 5.5 viser gennemsnit, interval og standardafvigelsen for den kørte strækning

5.2.3 Tomgang

Tomgangsmålingen blev først implementeret i juli 2024 i datasættene, derfor er det kun en begrænset mængde data. Tomgang for et elektrisk køretøj er ikke helt det samme som for et fossilt køretøj. I et elektrisk køretøj er der ikke en motor, der står i tomgang, men det alle systemerne som er aktive og køretøjet i parkeringsmode. Figur 5.7 viser hvorledes fordelingen af tomgang i procent er fordelt over ugerne. I figuren er der fjernet alle datasæt under 1 %, da tomgang under 1 % må anses som at være uden tomgangskørsel.



Figur 5.7 Viser fordelingen af tomgang, se note

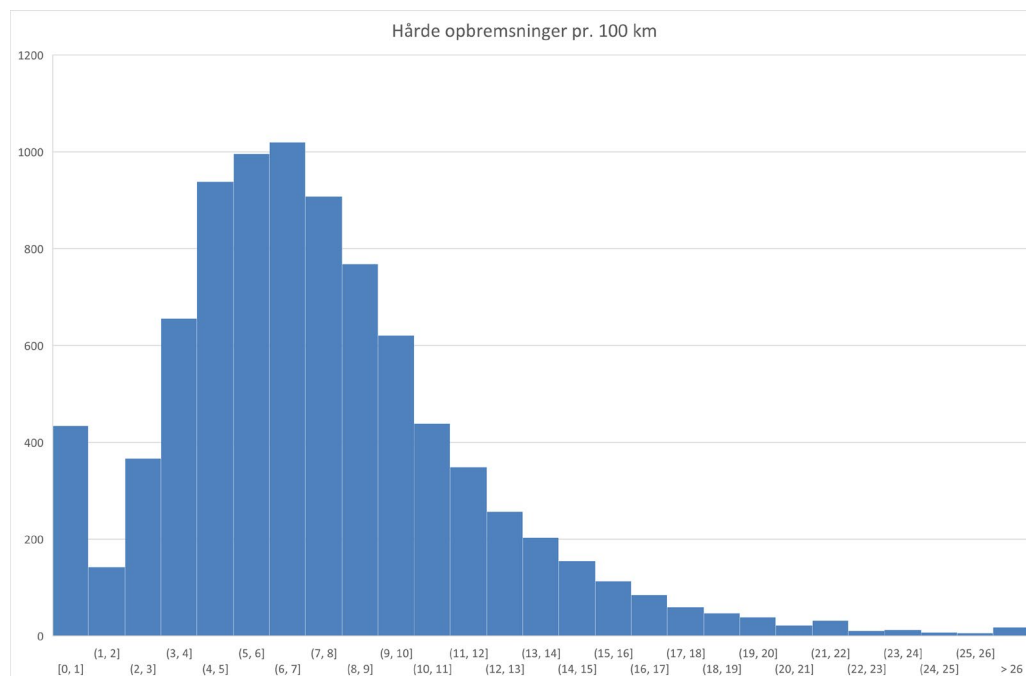
Tabel 5.6 viser hvorledes tomgang fordeler sig i antallet af observationer. Det skal bemærkes at i denne er værdier med 0 tomgang medtaget og at fordelingen er ikke normalfordelt.

Gennemsnittet	6,8	%
Minimum	0	%
Maksimum	91,7	%
Standard afvigelse	19,6	%

Tabel 5.6 viser gennemsnit, interval og standardafvigelsen tomgang

5.2.4 Hårde opbremsninger

Antallet af hårde opbremsninger, beskriver hvor mange gange pr. 100 km at der bremses så meget at den regenerering af køretøjets kinetiske til batteriet, bliver mindre Figur 5.10. Jo færre hårde bremsninger, jo bedre mulighed for at bremseenergien bliver genanvendt.



Figur 5.8 viser antallet af hårde opbremsninger

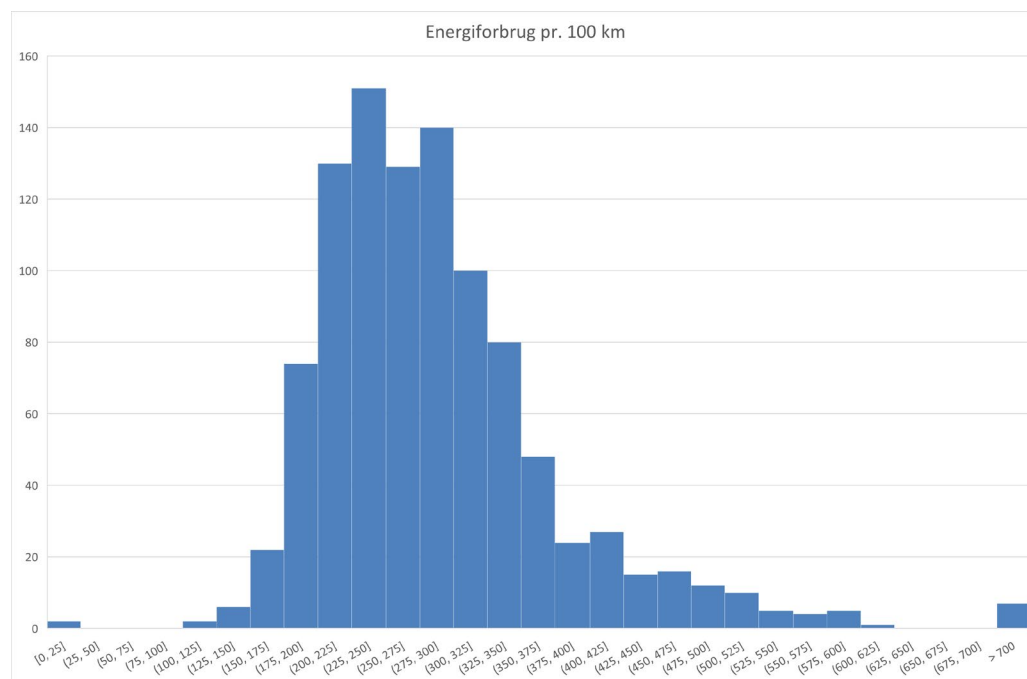
Antallet af hårde opbremsninger er ikke noget som der er sat et måltal for, men der i gennemsnit 7,6 hårde opbremsninger pr. 100 km, med en ret stor standard afvigelse på 6,0, som ses af Tabel 5.7

Gennemsnittet	7,6	antal/100 km
Minimum	0	antal/100 km
Maksimum	370	antal/100 km
Standard afvigelse	6,0	antal/100 km

Tabel 5.7 Viser antallet af hårde opbremsninger i gennemsnit, intervallet og standardafvigelsen.

5.2.5 Energiforbrug

Energien forbrugt er meget afhængig af hvor meget der bruges til forskellige øvrige funktioner, som bl.a. komprimering. Sker der mange komprimeringen er energiforbruget højt. Der er nogle enkelte datapunkter, hvor der er ekstremt stort energiforbrug pr. 100 km. Fx er det en på over 64 000 kWh pr. 100 km, hvor der kun er kørt 4 km. Dette datapunkt er ikke inkluderet, men typisk vil der være uden betydning for det totale energiforbrug.



Figur 5.9 Viser fordelingen af energiforbruget pr. 100 km.

På Tabel 5.8 vises det gennemsnitlige energiforbrug pr 100 km, det ses at gennemsnittet er 253 kWh pr 100 km, måltallet for designet ligger på 1 kWh pr km til kørsel og 0,75 kWh pr km. Dette tal kan ikke sammenlignes med den totale årlige kørsel, for det er ikke vægtet med den kørte strækning.

Gennemsnittet	253	kWh/100 km
Minimum	0	kWh/100 km
Maksimum	64170	kWh/100 km
Standard afvigelse	809	kWh/100 km

Tabel 5.8 Viser det gennemsnitlige energiforbrug pr. 100 km, intervallet og standardafvigelsen.

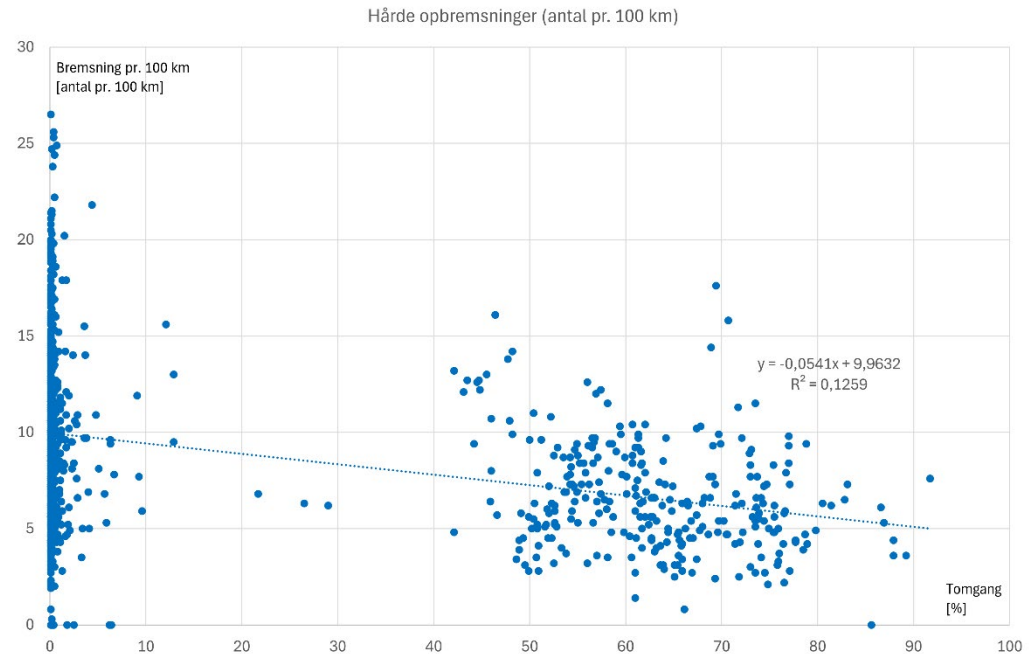
5.3 Krydskorrelationer på ugedata

Der er en meget lille korrelation ved kørt strækning mod de andre parametre. Som ses nedenfor. Helt generelt er der meget årsagssammenhæng mellem ugedata og deres forskellige datasæt. Det betyder der er stor varians for køremønstre og kørestil. Tabel 5.9 viser sammenhæng mellem de forskellige data og deres årsagssammenhæng.

Faktor \ Korrelation	Strækning [km]	Scania Driver Support [%]	Tomgang [%]	Hårde opbremsninger [antal pr. 100 km]	Energiforbrug [kWh/100 km]
Strækning [km]	-	0,0062x	0,0037x	-0,0017x	-0,6414x
Scania Driver Support [%]	0,0073	-	0,2137x	-0,1293x	-0,5199x
Tomgang [%]	0,0003	0,0061	-	-0,0541x	0,5751x
Hårde opbremsninger [antal pr. 100 km]	0,0022	0,0799	0,1259	-	3,2881x
Energiforbrug [kWh/100 km]	0,0104	0,00003	0,0063	0,0091	-

Tabel 5.9 Korrelation mellem data i ugeopsamling.

Af tabellen ses det at de fleste korrelationer er under 0,1, hvilket betyder at der ikke er evidens for en direkte årsagssammenhæng. Den største korrelation er mellem antallet af hårde opbremsninger og tomgang. Korrelationen er på 0,13, hvilket kan tolkes at med 13 % chance er der en faktor på 0,05 gange for et fald i tomgang, hvis der sker en ekstra opbremsning pr 100 km. Der er sandsynligvis en lille direkte kausalitet, da en opbremsning jo betyder at køretøjet ikke er i tomgang. Som illustration vises i Figur 5.10 fordelingen af hårde opbremsninger pr. 100 km som funktion af tomgangsprocenten. Det ses desuden af figuren at der er en hel population, hvor der stort set ikke er nogen tomgang, selvom der er hårde opbremsninger. Årsagen til ingen tomgang, skyldes sandsynligvis kørestil, fremfor at køretøjet ikke holder stille. Elbiler er ikke kendt for at have et stort tomgangsforbrug, bortset fra koldt vejr, hvor fossile biler i sommerperioden kun taber energi ved tomgang (Matthias Vogt, 2021).



Figur 5.11 Hårde opbremsning pr. 100 km som funktion af tomgang i procent.

5.3.1 Strækning (km) mod Scania Driver Support (%)

Der ses en lille øgning ved længere strækninger med driversupport, dog er der ikke en stærk korrelation. Det betyder det er ikke

5.3.2 Strækning (km) mod Tomgang (%)

Meget lav korrelation, lille stigning af tomgang ved længere afstand

5.3.3 Strækning (km) mod Hårde opbremsninger (antal pr. 100 km)

Strækning mod hårdeopbremsninger ikke den store korrelation, dog et lille fald ved længere kørsel

5.3.4 Strækning (km) mod Energiforbrug (kWh/100 km)

Der ses en meget lille korrelation ved øget strækning og energiforbrug. Dog er der et fald, der betyder at jo mere der køres jo mere effektiv er kørslen.

Der er en sandsynlig fejl – der er strækninger på 900 km der er kørt på ca 2 kWh pr. 100 km

5.3.5 Scania Driver Support (%) mod Tomgang (%)

Ikke nogen korrelation – lille stigning ved øget driversupport

5.3.6 Scania Driver Support (%) mod Hårde opbremsninger (antal pr. 100 km)

Der er ikke stor korrelation mellem driver support og hårde opbremsninger, dog falder hårde opbremsninger ved øget driver support.

5.3.7 Scania Driver Support (%) mod Energiforbrug (kWh/100 km)

Der er ikke en stor korrelation med driver support og energiforbrug, dog falder energiforbruget lidt ved øget driversupport.

5.3.8 Tomgang (%) mod Hårde opbremsninger (antal pr. 100 km)

Lidt sjovt at der er lidt bedre korrelation af tomgang mod hårde opbremsninger, det kan skyldes adfærdsbestemt kørsel, men antallet af hårde opbremsninger stiger ved øget tomgang.

5.3.9 Tomgang (%) mod Energiforbrug (kWh/100 km)

Energiforbruget stiger ved højere tomgang.

5.3.10 Hårde opbremsninger (antal pr. 100 km) mod Energiforbrug (kWh/100 km)

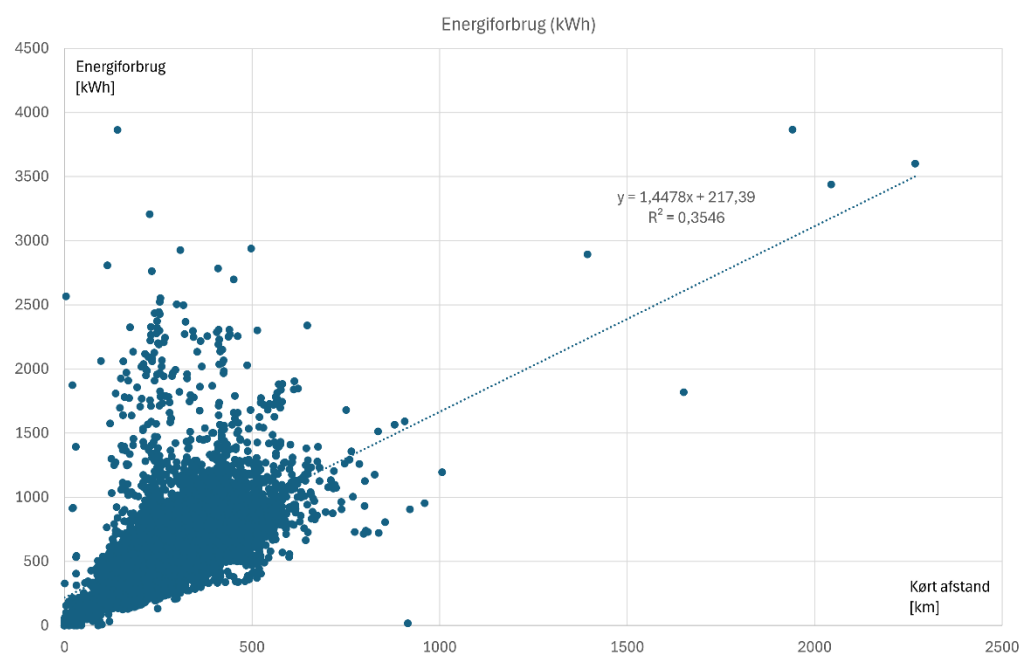
Let stigende energiforbrug ved hårde opbremsninger.

5.4 Energiforbrug mod kørt længde

Korrigeres effektforbruget med kørte afstand, bliver korrelationen ikke underligt meget bedre. Bortset fra et enkelt datapunkt, som sikkert er en fejlmåling, er det tydeligt at der sammenhæng mellem køreafstand og energiforbrug.

Korrelationen er 0,35, hvor den er under 0,01 ved den direkte sammenligning.

Som faktoren fortæller hvis der sker en opbremsning mere pr 100 km vil der ske en øgning i energiforbruget på 1,45 kWh pr 100 km gange.

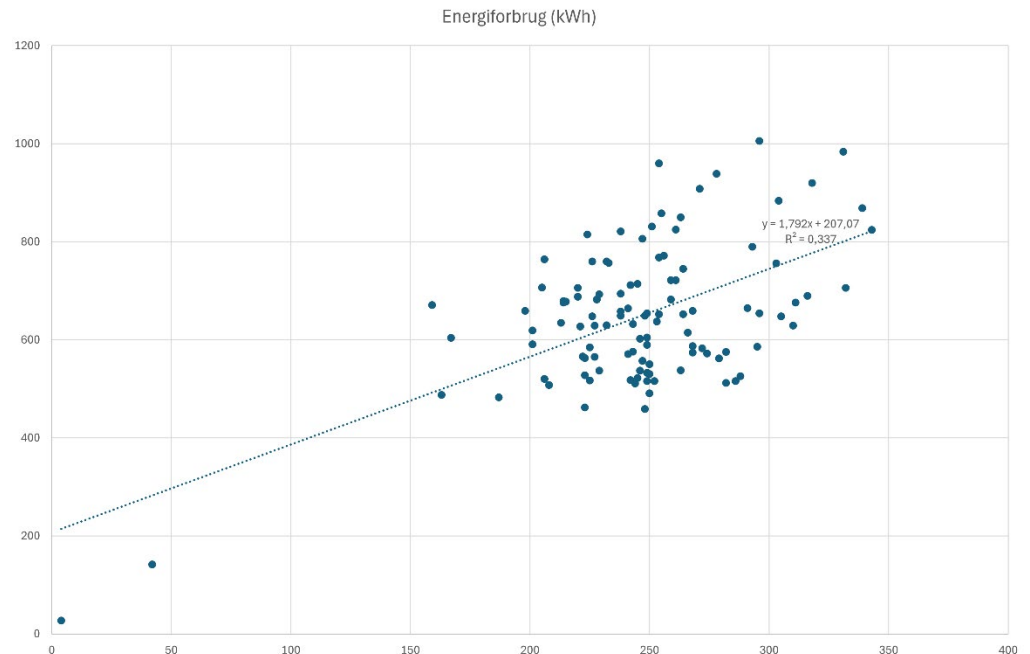


Figur 5.12 Viser energiforbruget som funktion af den kørte afstand. Note et enkelt målepunkt ved 915 km viser 0 kWh i forbrug, hvilket er sandsynligvis en fejlmåling.

Når der bliver analyseret på de individuelle køretøjer, kan man se årsagen til at korrelationen er lav.

5.4.1 Køretøj A

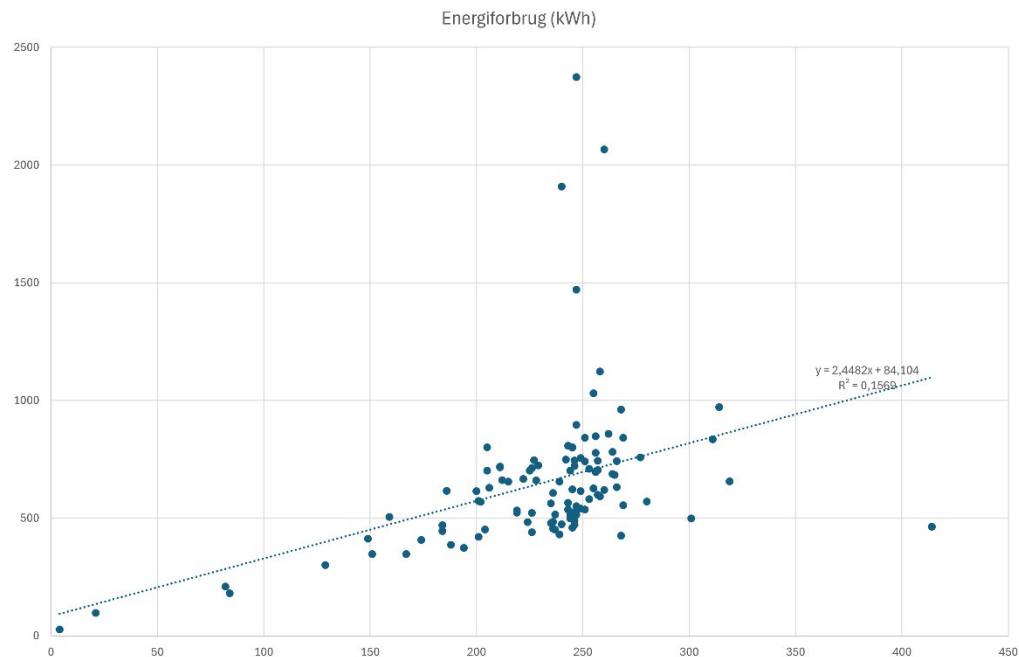
Køretøj A kører en meget systematisk kørsel, de fleste køreture på en uge er mellem 200 og 325 km. Fordelingen af energiforbruget ligger relativt tæt gennemsnittet, af hvad man kan forvente af årsvariation og variation i mængden af affald. Forbruget ligger normalt indenfor ca. +/- 30 % af det forventede forbrug på 1,79 kWh/km. De 1,79 kWh/km er over det gennemsnitlige forbrug på 1,44 kWh/km.



Figur 5.13 Køretøj A med et jævnt fordelt køremønster med en vis afvigelse på forbrug.

5.4.2 Køretøj B

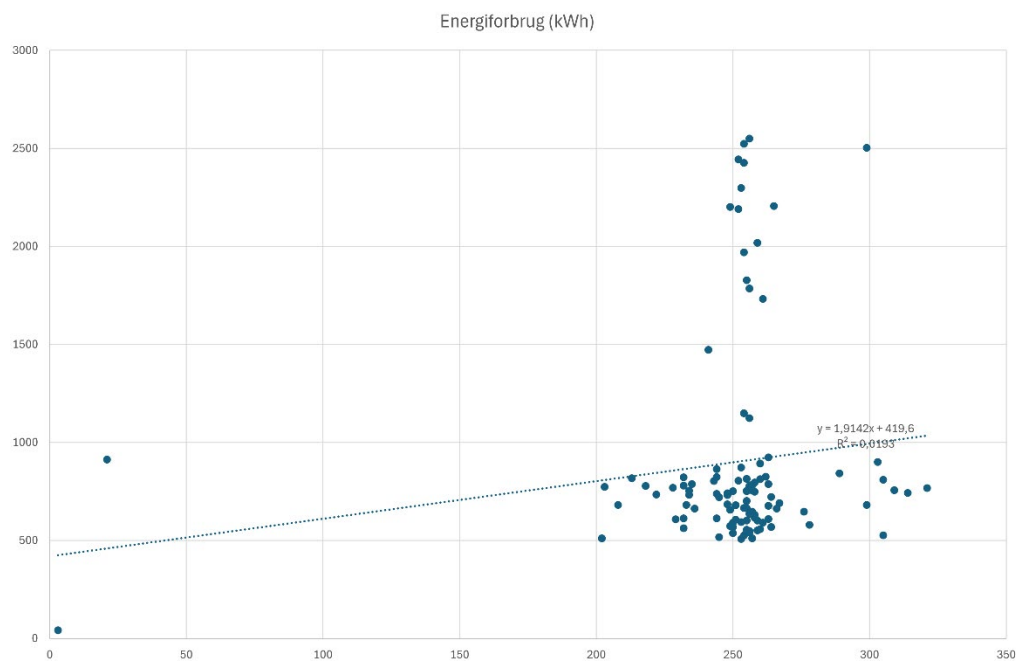
Køretøj B med systematisk køremønster og markant forskelligt forbrug. Der er tydeligt at køre samme strækning, men ved forskelligt energiforbrug (komprimering). Set i forhold til køretøj A, se at der omkring en kørestrækning på 250 km, er markant forskelligt forbrug. Der er et målepunkt, hvor der er brugt 2400 kWh på 250 km – det er ca 9,6 kWh/km eller en faktor 4 mere energiforbrug end ved den gennemsnitlige drift. Yderligere er det gennemsnitlige forbrug på 2,44 kWh/km, hvilket er 1 kWh/km højere end gennemsnittet – alene det kan gøre at behov for at undersøge kørestillen nærmere.



Figur 5.14 Køretøj B med et meget forøget forbrug ved enkelte målepunkter ved 250 km, som tyder på særlige forhold, der bør undersøges nærmere.

5.4.3 Køretøj C

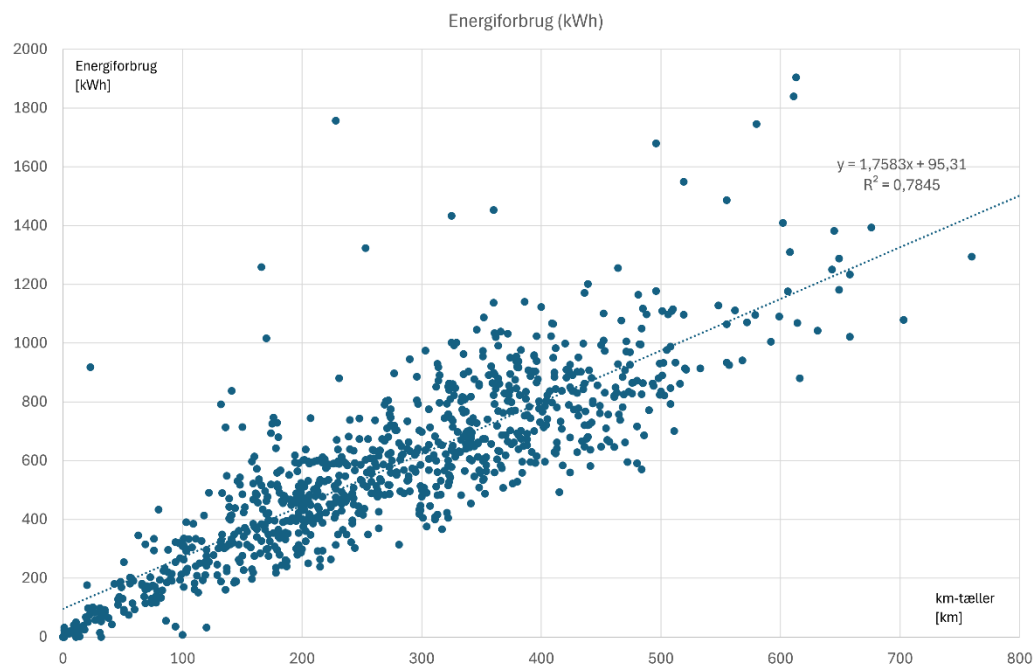
Køretøj C minder om køretøj B, hvor der er et markant forbrug ved 250 km pr uge, hvor der bliver brugt mellem 1 til 5 gange forbruget i middel. Det kan meget let skyldes øget ekstra forbrug som følge af komprimering. Det normale forbrug er 1,91 kWh/km hvilket er lidt højere end gennemsnittet. Det er tydeligt at se på Figur 5.15 Køretøj C med en markant forskelligt energiforbrug ved samme kørte distance. at dette normale forbrug vil falde, hvis



Figur 5.15 Køretøj C med en markant forskelligt energiforbrug ved samme kørte distance.

5.5 Køretøjer med den mest ensartede kørsel

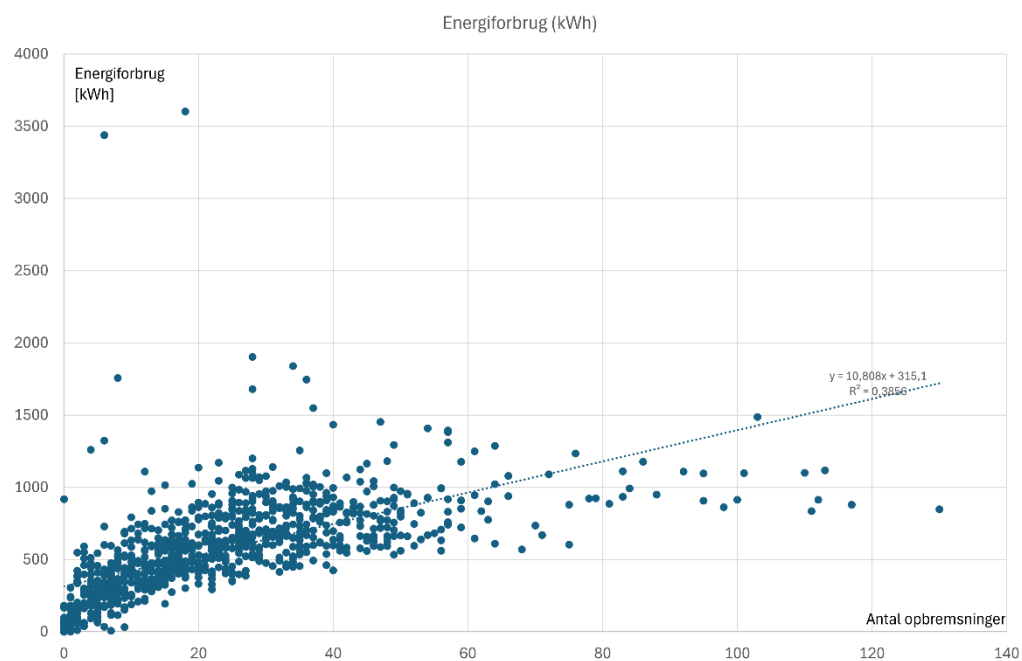
Når man tager de 10 køretøjer med den bedste korrelation, hvilket betyder at de har en ensartet kørsel, bliver data mere enklere at udføre variansanalyser på. Det ses på figuren nedenfor at energien pr. kørt km er 1,75 kWh / km og korrelationen er 0,78. Når korrelationen er så høj, vil man kunne konstatere når køretøjet fx har kørt en opgave og forbruget er steget med fx 30 % vil der sandsynligvis være en eksplicit forklaring.



Figur 5.16 Energiforbrug som funktion af kørt distance, for de 10 køretøjer med den største korrelation.

5.5.1 Hårde opbremsninger

Ved at sammenligne antallet af hårde opbremsninger med energiforbruget kan man se at Når der hårde opbremsninger sker der en øgning af energien. Der er en korrelation på 0,39 og en faktor på 10,8 kWh pr bremsning. Det betyder faktisk at for hver bremsning kan man kører i gennemsnit kører ca 6 km.



Figur 5.17 Sammenhængen mellem hårde opbremsninger og energiforbrug.

6 Diskussion

6.1 Konklusion

Undersøgelserne har vist at en generel beskrivelse af 88 elektriske affaldsbiler energiforbrug er ikke simpel. Der er mange usikkerheder og forskelligheder i køremønstre og -stile.

Der er i undersøgelserne fundet at for mindre ladere vil ladekurven være tilnærmelsesvis lineær. Så en beskrivelse af at en lader på 25 kW lader med samme hastighed fra 20 – 30 %, som fra 80 – 90 % er rimeligt at antage. Målingerne har ikke kunne sige noget om virkningsgraden af laderen.

Sammenhængen mellem elpris og CO₂ emission er rimelig god, så det plausibelt at antage at hvis prisen er billig, så er CO₂ emissionen sandsynligvis også acceptabel. Prisen for el er dyrest i samme periode som den største del af skrald indhentes. Dog bør ladningen først senere på aftenen (efter kl. 19).

Den samlede mængde af køretøjer på 88 stk har et gennemsnitligt energiforbrug på 2,53 kWh pr kørt kilometer, dette er noget højere end det måltal, som var for dimensioneringen. Som det kan ses, er der stor variation på kørslen.

Sammenlignes energiforbruget for de bedste korrelerede køretøjer ses det at der anvendes 1,75 kWh pr kørt kilometer med en korrelation på 0,78 ved normal kørsel, hvilket stemmer overens med de oprindelige estimerede tal. Det betyder at hvis de bedste erfaringer fra disse køretøjer bliver delt med de andre, vil der være en stor sandsynlighed for besparelse. Sammenlignes det generelle gennemsnit med de 10 biler som kører mest jævnt, vil der være en besparelse på ca 0,75 kWh pr. kørt kilometer. Sammenlignes besparelsen med totalt antal kørte kilometer og den mulige besparelse pr km bliver det en total energibesparelse på over 1 million kWh.

Der kan være flere årsager til det store energiforbrug, fx at køretøjerne komprimerer mere, men spredningen tyder på at det skal undersøges nærmere.

Antallet af hårde opbremsning har en betydning for energiforbruget med en størrelse på ca 10 kWh pr. opbremsning. Det svarer til en energi som kunne anvendes til 5 km kørsel. Årsagen til hårde opbremsninger bør undersøges nærmere.

6.2 Hvad betyder resultaterne

Resultaterne underbygger de teser som har været før og under driften. Dog kan data være med til at underbygge og validere tiltag til optimering af driften.

6.3 Implikationer

En mere energieffektiv drift kan dels have en positiv økonomisk effekt, en CO₂ reduktion, samt øge udnyttelsen af køretøjerne, da de så ikke skal lade så længe i løbet af dagtimerne. Det reducerede forbrug vil også have betydning for netselskabet, som kan udskyde investeringer i udbygningen af elnettet.

6.4 Forskningens bidrag

Denne rapport kan bidrage til at man benytter en lidt bedre flåde analyse, så det sikres at der sker en bedre udnyttelse af energien, uden at det går ud over service eller arbejdsmiljø. Supplere med rapporten angående ledelsen, vil denne rapport kunne indgå i det videre arbejde omkring flådeledelse.

6.5 Værdi af forskningsresultaterne

Der vil kunne tjenes penge på at udbyde ladningen som systemydelser, hvor en udskudt ladning på få sekunder til timer vil kunne bidrage til elnettets stabilitet. Der skal laves yderligere beregninger og softwareændringer for at dette kan lade sig gøre.

6.6 Perspektivering

Der bør indføres en flådestyring, som tracker energiforbruget, herunder specielt anvendelsen af komprimering.

Der kan undersøges om solceller på tagene kan bidrage til formiddagsopladningen. Opladningerne om natten er ikke realistisk at anvende batterier.

Det bør undersøges om en automatisk eller semiautomatisk styring af komprimeringen kan nedsænke energiforbruget.

7 Referencer

- ADAC. (12. februar 2021). *Kältetest E-Auto: Wie lange halten Elektroautos im Stau durch?* Hentet fra ADAC: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/haertetest-winter-stau/>
- ARC. (21. 03 2021). Udbudsbetingelser. *Udbud af ladeinfrastruktur til indsamlingskøretøjer*. København: ARC.
- ARC. (14. 03 2022). ARC Indsamling. *Samarbejdsaftale om behandling af data indhentet ved kørsel med elektriske renovationskøretøjer*. København.
- ARC. (10. 07 2024). *Elektriske skraldebiler – en brik i den grønne omstilling*. Hentet fra ARC: <https://a-r-c.dk/elektriske-skraldebiler-en-brik-i-den-groenne-omstilling/>
- ARC. (12. 02 2025). *Om ARC*. Hentet fra ARC: <https://a-r-c.dk/om-arc/>
- Brask, P. (16. maj 2023). *Erfaringer med etablering af ladeinfrastruktur til større vognpark*. (P. Brask, Udøvende kunstner) IDA Conference, København.
- Dansk E-mobilitet. (2022). *El og brint i fremtidens vare- og lastbiler*. Frederiksberg: Dansk E-mobilitet.
- Divshali, P. H., & Evens, C. (2021). Optimum day-ahead bidding profiles of electrical vehicle charging stations in FCR markets. *Electric Power Systems Research* 190, s. 1-8.
- Jing, R., Shah, N., Wang, J., & Guo, M. (2021). Emerging supply chain of utilising electrical vehicle retired batteries in distributed energy systems. *Advances in Applied Energy*, s. 1-13.
- Klimarådet. (2021). *Veje til klimaneutral lastbiltransport*. København: Klimarådet.
- Matthias Vogt, A. T. (12. 02 2021). *Kältetest E-Auto: Wie lange halten Elektroautos im Stau durch?* Hentet fra ADAC: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/haertetest-winter-stau/>
- Montgomery, A., Schnell, J., Rogin, A., & Horton, D. (2021). Health Benefits of Electrifying Chicago's Municipal Vehicle Fleet. *Department of Earth and Planetary Sciences, Northwestern University, Evanston, IL, USA* (s. 1). Evanston: Elsevier Ltd.
- Plötz, P., Jakobsson, N., & Sprei, F. (April 2017). On the distribution of individual daily driving distances. *Transportation Research Part B*, s. 213-227.

- Ribberink, H., Wu, Y., Lombardi, K., & Yang, L. (12 2021). Electrification Opportunities in the Medium- and Heavy-Duty. *World Electric Vehicle Journal*, s. 1-14.
- RSH. (Februar 2025). 2024 gav gennembrud for ellastbiler i Danmark. *EL+ENERGI*, s. 14.
- Rådet for grøn omstilling. (2024). *Notat om fremskrivning af antallet af elektriske lastbiler i Danmark*. København: Rådet for Grøn Omstilling.
- Skovlund, J. (22. november 2022). *Grønne skraldebiler i København bliver ladet op med dieselgeneratorer*. Hentet fra Mobilitywatch.dk: <https://mobilitywatch.dk/nyheder/infrastruktur/article14597082.ece>
- Song, G. (2020). *Analysis of the Energy Consumption of the Powertrain and the Auxiliary Systems for Battery-Electric Trucks*. Södertälje: KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, SCHOOL OF ENGINEERING SCIENCES.
- Thingvad, A., Calearo, L., Andersen, P., & Marinelli, M. (2021). Empirical Capacity Measurements of Electric Vehicles Subject to Battery Degradation from V2G Service. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, s. 1-11.
- Wagner, K. B. (2016). *Slutrapport på el skraldebil på Frederiksberg*. Frederiksberg: Frederiksberg Kommune.
- Østergaard, J. (2022). *Renovationskørsel på el*. København: Greater CoPENHAGEN.

Dokumentet er ejet af: Zealand

Næste opdatering senest 1 år efter godkendelsesdatoen

Version	Udarbejdet af	Revideret af	Godkendt af	Dato	Kommentar
0.1	Morten Helms Brask	[Navn]	[Navn]	[xx-xx-xx]	[Tekst]

