

Analyse af behovet for opladeinfrastruktur på det Danske statsvejnet

CHARGO projektet – dansk sammenfatning

Projektet er udført af DTU Management, Bygningstorvet 116, 2800 Lyngby, Danmark, og finansieret af Transportministeriet

Jeppe Rich, Christian Anker Vandet, Ninette Pilegaard

1 Indledning

Omstillingen af personbilparken fra fossildrevne biler til elbiler er i gang. Grønne biler (elbiler og plug-in hybridbiler) udgør nu ca. 2% af personbilparken og 28% af nybilsalget (De Danske Bilimportører). Med Grøn Vejtransportaftale, der blandt andet fastlægger beskatningen af køb og ejerskab af biler for de kommende år, og med den øvrige udvikling på området, er det forventningen, at grønne biler vil udgøre mellem 25-30% af bilparken i 2030. Det væsentligt øgede antal elbiler medfører imidlertid også et væsentligt øget behov for ladeinfrastruktur i forbindelse med destinationsopladning og i forbindelse med tur-opladning. Det er imidlertid usikkert, om et rent markedsbaseret udbud af energiforsyning til elbiler vil resultere i en tilgængelighed til ladeinfrastruktur, der på kort og mellemlangt sigt understøtter brugernes behov for mobilitet.

Tilgængelighed til ladeinfrastruktur påvirker både rejsetid og regularitet i transportsystemet på samme måde som udbuddet af vejinfrastruktur og omfanget af trængsel på vejnettet. Hvis tilgængeligheden til ladeinfrastruktur er for lav, vil bilisterne skulle planlægge et ekstra tidsforbrug, som udgør et samfundsøkonomisk tab. Hvis tilgængeligheden til ladeinfrastruktur omvendt er for høj, kan investeringen i ladestander mv. være en ineffektiv anvendelse af samfundets ressourcer.

I dette projekt fokuseres på ladeinfrastruktur på statsvejnettet og dermed altså på tur-opladning. Det undersøges hvad der kan være en samfundsøkonomisk begrundet tilgængelighed til ladeinfrastruktur for fremtidens elbiler med primær fokus på statsvejnettet. Dette gøres ved at værdisætte ventetider ved ladestander i forhold til omkostningerne ved at etablere udbuddet af ladestander. Der ses på forskellige scenarier for udrulningen af ladestander og for udviklingen af ladebehovet.

I analysen anvendes landsdækkende simuleringer af efterspørgsel efter opladning af elbiler under antagelser om blandt andet hjemmeopladning, opladning på destinationen, opladningsadfærd på turen samt antagelser vedrørende opladehastighed og rækkevidde. Der anvendes data fra Transportvaneundersøgelsen (TU) og Landstrafikmodellen (LTM) samt data fra Vejdirektoratet vedrørende lokaliteter for opladningsstationer.

Omkostningerne for at etablere infrastruktur baserer sig på tal fra Banedanmark. På basis heraf er der formuleret en generisk step-funktion som tager højde for at prisen for kapacitet ændre sig som følge af den installerede kapacitet.

2 Modellen

Efterspørgslen modelleres på to niveauer; 1) et 'globalt' niveau som bestemmer mængden af opladninger på statsvejnettet, 2) et 'lokalt' niveau som bestemmer præcist hvor på statsvejnettet den enkelte opladning finder sted. Hvor global efterspørgsel i vidt omfang er en skaleringsøvelse som bygger på antagelser om antal elbiler og teknologi er den lokale efterspørgsel en fordelingsøvelse. Valg mellem opladepunkter på det lokale niveau på en tur bestemmes ud fra en diskret valgmodel. Bilen vil på turen kunne vælge mellem en stikprøve af forskellige ladepunkter der ligger på ruten og for hvert ladepunkt (på nær det sidste) vil bilisten vælge mellem at oplade straks eller udskyde opladningen til senere på ruten. Valg mellem ladepunkter sker på basis af ventetider, omvejskørsel samt bilens tilbageværende rækkevidde på det givne tidspunkt. Parametrene for disse attributter er estimeret ud fra 'Stated-preference' data.

Den lokale efterspørgselsmodel er koblet til et generaliseret køsystem som gennem denne interaktion afleder en ventetidsfordeling for de enkelte opladestationer. Dette muliggør at der i analysen kigges på helt specifikke servicegarantier i systemet, så som maksimum ventetid ved en ladestander før opladning påbegyndes og 99% percentilen for den maksimale ventetid. Ventetidsbesparelser oversættelses til en samfundsøkonomisk besparelse gennem en tidsværdi.

Formålet med modellen er dermed; 1) at finde antal opladere der kan sikre et specifikt serviceniveau for hele statsvejnettet (i form af ventetid og maksimal ventetid), 2) at vurdere hvordan antallet af opladere geografisk skal placeres under hensyn tagen til en generel omkostningsfunktion, og 3) at vurdere den samfundsøkonomiske værdi af de forskellige serviceniveauer.

3 Forudsætninger

Analysen baserer sig på en række forudsætninger.

Det drejer sig dels om forudsætninger om, hvordan efterspørgslen efter ladeinfrastruktur vil udvikle sig og dels om antagelser om omkostninger ved infrastrukturen. Efterspørgslen efter ladeinfrastruktur bestemmes af antallet af elbiler og elbil-ejernes adfærd og dels af den teknologiske udvikling af bilerne. For udviklingen af elbiler og elbilejernes adfærd drejer det sig blandt andet om antallet af elbiler og om hvilken ladetilstand elbilejerne kører afsted med. Derudover er det af betydning, om der lades fuldt op i forbindelse med et stop eller om der er tale om en behovstyret opladning til netop at dække behovet frem mod destinationen. Endelig drejer det sig om antallet af ture og rejsemønstre, som elbilerne foretager. For den teknologiske udvikling er det især af betydning, hvor stor rækkevidden elbilerne forventes at have samt med hvilken hastighed de forventes at kunne oplade med.

Omkostningerne ved infrastrukturen er skøn baseret på input samlet af BaneDanmark (Banedanmark, 2021)

De væsentligste antagelser nævnes herunder:

3.1 Efterspørgsel og rejsemønstre

- Basisåret er 2030.
- Der kigges udelukkende på personbiler og varebiler.

- Der regnes på opladningsbehov for en gennemsnitsdag. Hertil regnes yderligere på en ekstrem dag med 70% ekstra trafik. Dette svarer til den ekstra trafik der ligger på Storebæltsbroen på den meste ekstreme dag (18. Juli 2020) sammenholdt med en almindelig ÅDT dag.
- LTM 2030 matricer anvendes til at beskrive trafikmønstret i Danmark og mellem Danmark og udlandet.
- Der regnes med en korteste vej udlægning mellem LTM-zoner på L2 niveau. For at undgå at bilerne mellem enkelte zonepar i visse grænsetilfælde alle udlægges på færger, introduceres der en sampling mellem Storebælt og færgerne.
- Ture fra Udland til Danmark og gennem Danmark udlægges ved at knytte disse til 4 portzoner: Helsingør, Øresund, Gedser/Rødby og den grønne grænse. Der defineres en kobling mellem portzoner og udenlandske zoner.
- Agenter trækkes fra TU i mikro-simuleringen for at rekvirere anden information omkring agenterne i form af hjemmeopladning og detaljerede afgangstider. Disse data kalibreres til matricerne.

3.2 *Teknologi, elbiler og lokaliteter for opladning*

- Der anvendes en basisprognose på 775.000 elbiler fra Energistyrelsen i 2030. Alle disse antages at være elbiler (der fokuseres dermed udelukkende på opladebehovet for rene elbiler). En alternativ prognose med 1 Million elbiler indgår som et alternativt scenarie.
- Alle standere har en maksimal opladehastighed på 200 kw.
- Der tages udgangspunkt i en bruttoliste af rastepladser og tankstationer på i alt 108 lokaliteter.
- Bilernes rækkevidde efter endt opladning i forhold til bilens maksimale rækkevidde (State Of Charge niveau) varierer for de forskellige scenarier.
- Bilernes rækkevidde varierer fra bil til bil og er trukket fra en generel fremskrevet fordeling for rækkevidden. Middelværdien for rækkevidden er ca. 400 km med et maksimum på næsten 900 km i 2030 (dog med en meget lav sandsynlighed).
- Hastigheden hvormed bilerne kan oplade varierer for de forskellige scenarier.
- Der anvendes et informationsdelingsprincip således at biler har kendskab til tilnærmede ventetider i systemet (Vandet og Rich, 2021).

3.3 *Priser og samfundsøkonomi*

- Ventetidsbesparelser evalueres med en tidsværdi på 100 DKK/Time.
- Prisen på en ladestander er 0,5 Million og afskrives over 10 År.
- Prisen for 'under jord' infrastruktur varierer med kapaciteten og afskrives over 50 år.
- Pris for vedligehold, transmission og el er alle kapacitetsafhængigt.
- Prisen for opladning for bilisterne antages at være den samme på alle lokaliteter, og alle bilister har adgang til alle ladestanderne.

Der henvises til baggrundsnotat (Rich et al., 2021) for mere detaljeret gennemgang af antagelserne.

3.4 *De forskellige scenarier*

Som nævnt er der væsentlig usikkerhed om, hvordan ladebehov, teknologi og adfærd vil udvikle sig frem til 2030. Analysen baserer sig derfor på en række scenarier med forskellige antagelser om disse udviklinger. Der vælges udviklinger i fire forskellige dimensioner: opladehastighed, trafikintensitet (her referet til som 'peak' og 'non-peak'), 'State of Charge' (SoC) og efterspørgselsskalering.

For opladehastighed skelnes mellem hvilke hastigheder elbilerne forventes at kunne oplade til ved lynladere i 2030. Der ses på en maksimal ladehastighed på 200 kw. Udviklingen af elbilerne går i

retning af mulighed for hurtigere opladning. Der er dog på nuværende tidspunkt kun få biler, som er i stand til at oplade ved denne hastighed. Da bilparken også udskiftes langsomt kan det derfor tænkes, at der også i 2030 vil være mange biler, som ikke kan oplade ved denne hastighed. Det kan også tænkes, at der vil være en efterspørgsel efter biler med mere begrænset opladehastighed selv blandt nyere biler fordi disse vil være billigere. Endeligt er der stor forskel på teoretiske opladehastigheder og realistisk opladehastigheder.

'Peak' dimensionen beskriver den forventede intensitet i trafikarbejdet i scenariet, altså antallet af ture der forventes per dag. Der ses på situationen på en normal hverdag og på en ekstrem dag, hvor der er 70% mere trafik. Som beskrevet ovenfor svare den ekstreme dag til den øgede trafikintensitet der ses i de mest travle sommerdage for Storebæltstrafikken.

'SoC' efter endt opladning har betydning for hvor lang tid bilen oplader. Her opereres med 2 scenarier, hvor der i halvdelen af scenarierne opereres med opladning til 80% SoC, mens der i den anden halvdel anvendes et behovsstyret SoC. Her oplades bilen til hvad der er nødvendigt for at nå slutsdestinationen plus en sikkerhedsbuffer. Det gennemsnitlige SoC niveau for det behovsstyrede scenarie er ca. 70%. Det initiale SoC niveau, altså det niveau som bilerne har når de starter turen, er trukket fra en fordeling der er betinget af hjemmeopladning. Er hjemmeopladning muligt, er det initiale SoC niveau på 80%, hvis ikke hjemmeopladning er muligt er det mellem 15%-80%.

'Efterspørgselsskalering' tager højde for usikkerheden for udbredelsen af elbiler og deres ladebehov. I simulationen skelnes ikke mellem elbiler og PHEV, men der ses alene på deres opladebehov undervejs. Givet den længere ladetid end tanketid vil det være oplagt at antage, at biler med behov for tur-opladning i langt overvejende grad vil være rene elbiler. Samtidig ses på forskellige antagelser om på hvilke ture (efter længde), der forventes at have behov for opladning undervejs. Dette afspejler i høj grad, hvordan tur-opladning opfattes i forhold til destinationsopladning i forhold til bekvemmelighed, og om det opfattes som realistisk, at alle ture altid er fuldt opladte ved starten, for turene på statsvejnettet.

Opladehastighed:

- 'Medium': et optimistisk hvor alle bilerne oplader til maksimal hastighed.
- 'Lav': 50% af bilerne oplader med mellem 50-100% af den maksimale hastighed, mens resten oplader til maksimal hastighed;

Peak:

- '0' er en normal hverdag
- '1' er en dag med 70% mere trafik.

SoC (efter opladning):

- 'Høj' er hvor alle oplader til 80%;
- 'Medium' er behovsstyret så folk kan nå deres endestation med en vis buffer.

Efterspørgselsskalering:

- 'Lav' kun ture over 300 KM inddrages, og hvor der er 775.000 elbiler;
- 'Medium' er hvor alle ture over 30 KM har mulighed for at oplade og med 775.000 elbiler;
- 'Høj' er igen med alle ture over 30 KM men med 1.0 Million biler.

Scenario	Opladehastighed	Peak	SoC (efter opladning)	Efterspørgselsskalering
1	Medium	0	Høj	Lav
2	Medium	0	Høj	Medium

3	Medium	0	Høj	Høj
4	Medium	0	Medium	Lav
5	Medium	0	Medium	Medium
6	Medium	0	Medium	Høj
7	Lav	0	Høj	Lav
8	Lav	0	Høj	Medium
9	Lav	0	Høj	Høj
10	Lav	0	Medium	Lav
11	Lav	0	Medium	Medium
12	Lav	0	Medium	Høj
1p	Medium	1	Høj	Lav
2p	Medium	1	Høj	Medium
3p	Medium	1	Høj	Høj
4p	Medium	1	Medium	Lav
5p	Medium	1	Medium	Medium
6p	Medium	1	Medium	Høj
7p	Lav	1	Høj	Lav
8p	Lav	1	Høj	Medium
9p	Lav	1	Høj	Høj
10p	Lav	1	Medium	Lav
11p	Lav	1	Medium	Medium
12p	Lav	1	Medium	Høj

Tabel 1: Oversigt over scenarier. Scenarie 2 og 5 (i fed) skønnes at repræsentere realistiske scenarier.

Det er vanskeligt at pege på et basisscenarie da udviklingen afhænger af en række usikre faktorer. Dog skønnes det at Scenarie 2 og 5 er de mest realistiske scenarier og disse vil blive analyseres i detaljer nedenfor.

4 Resultater

De forskellige antagelser i de forskellige scenarier leder til forskellige resultater med hensyn til niveau for antal og fordeling af ladestander. Vi ser nu dels på nogle af de specifikke resultater og dels på nogle af de mere overordnede konklusioner.

4.1 Efterspørgsel

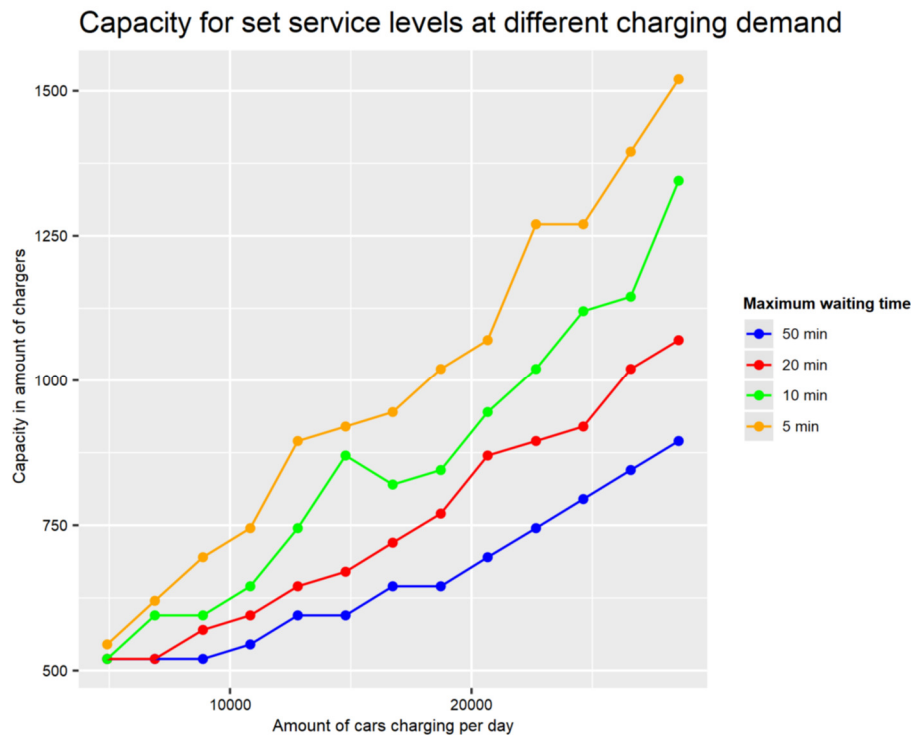
Overordnet set gælder som ventet, at efterspørgslen målt som opladninger der er behov for varierer ganske meget mellem de forskellige scenarier.

I de 12 scenarier er der på en normal dag en variation mellem 5000 og 40000 opladninger, mens tallet er mellem 9000 og 70000 for en 'peak' dag. Variationen skyldes blandt andet forskelle i antal elbiler, deres opladningsmønster og hastigheden hvormed de oplader.

4.2 Valg af servicegarantier er vigtige for valg af system

Servicegarantier skal her forstås som specifikke servicemåltal for systemet, såsom eksempelvis størrelsen af den gennemsnitlige ventetid eller den maksimale ventetid ved en ladestander før opladning påbegyndes. Grundlæggende vil de servicegarantier der lægges til grund diktere den nødvendige kapacitet. Det er oplagt, at en skrapere servicegaranti opgjort i minutter kræver en større udbygning end en mere lempelig. Det er dog også værd at bemærke, at der er meget stor forskel på, hvad det kræver at opfylde servicegarantier, der sigter på at minimere gennemsnitlige ventetider i forhold til maksimale ventetider.

Figur 1 viser forholdet mellem antal opladninger og den nødvendige kapacitet over et spænd af scenarier er i vist for forskellige maksimale ventetider i systemet.



Figur 1: Relation mellem antal daglige opladninger og nødvendig kapacitet for forskellige maksimale ventetidsgarantier.

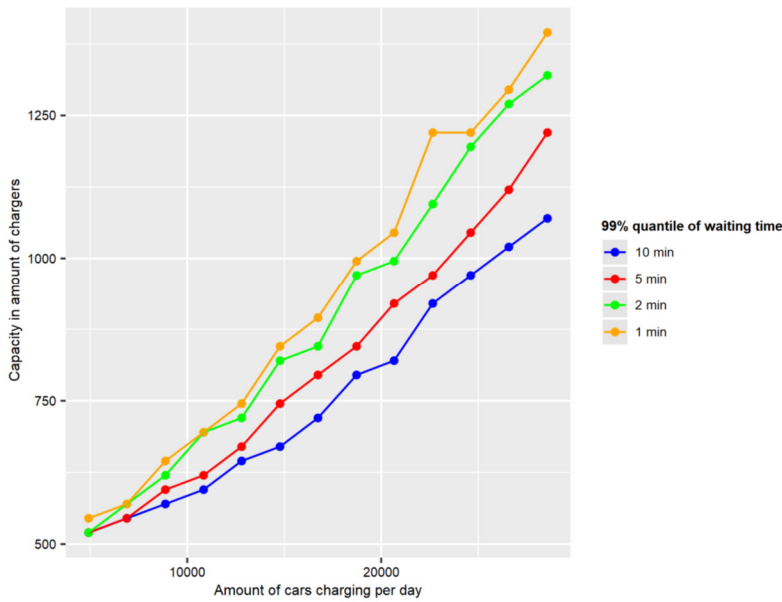
Det ses tydeligt, at et skarpere krav til serviceniveau også kræver større kapacitet. Det ses imidlertid også, hvordan udvidelsen af efterspørgslen (antallet af ladesituationer) påvirker behovet for udbygning.

Figuren illustrerer at der omtrent for hver ekstra 30 opladninger, hvilket ca. svare til 2500 ture med elbil, skal installeres en ny oplader for at opretholde et serviceniveau på 10 minutters maksimal ventetid.

Ved et serviceniveau på 20 minutters maksimal ventetid vil der kunne være ekstra 40 opladninger per ladestander.

I Scenarie 2 forventes omkring 35.000 opladninger per dag og med en maksimal tilladt ventetid på 10 minutter er der behov for ca. 1500 opladere. For Scenarie 5 er antallet af opladninger det samme, men da bilerne oplades efter behov (fremfor til 80%) kræver en servicegaranti på 10 minutter her kun ca. 1300 opladere.

Capacity for set service levels at different charging demand



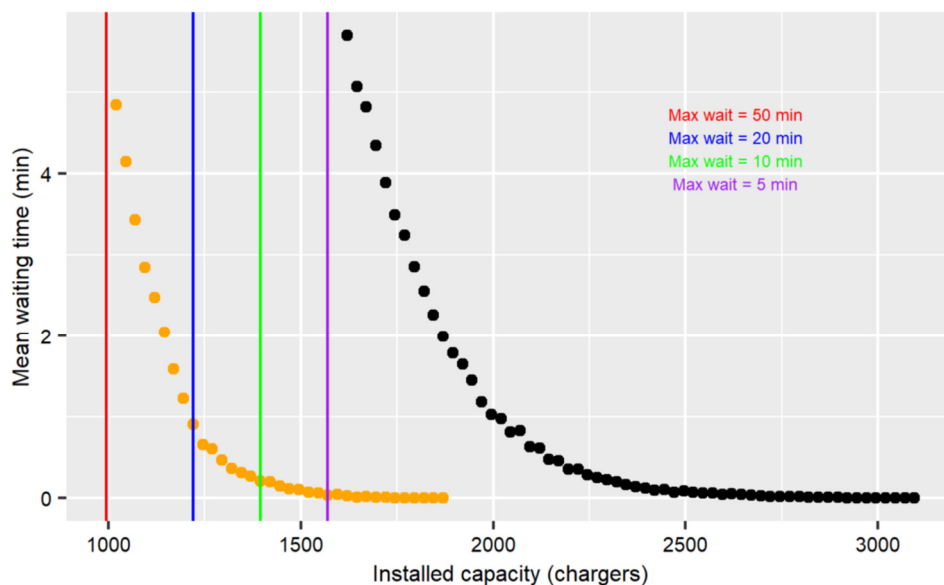
Figur 2: Relation mellem antal daglige opladninger og nødvendig kapacitet for forskellige maksimale 99% percentil ventetidsgarantier.

I Figur 2 vises det nødvendige behov for opladere, når man betragter en servicegaranti baseret på 99% percentilen for ventetid for bilister med opladebehov. Anvendelse af 99% percentilen er en garanti, der er lettere at opfylde i forhold til den maksimale ventetid. Bemærk at kurverne i Figur 2 viser ventetider, som for 99% percentilen betydeligt lavere end de tilsvarende for maksimal ventetid.

4.3 Hvilket servicemål er rigtigt?

Forholdet mellem gennemsnitlig ventetid og antallet af opladere følger en såkaldt "elbow" kurve, se Figur 3. Det ses at "knækket" indtræder i området mellem max-ventetider på 10-20 min. Dette indikerer, at en maksimal ventetid i dette niveau kan være optimalt. En bedre service end de 10 minutters maksimale ventetid bidrager meget lidt til systemets effektivitet. Omvendt er der en stigende marginal ændring i ventetiderne hvis servicen forringes.

Det skønnes desuden, at et mål baseret på 99% percentilen er et mere rimeligt servicemål at bruge, selvom det er vanskeligere at kommunikere. Maksimale ventetider repræsenterer et ekstremt tilfælde som måske/måske ikke opstår.



Legend ● Non-peak ● Peak

Figur 3: Relation mellem installeret kapacitet og den gennemsnitlige ventetid for forskellige maksimale ventetidsgarantier.

Man kan i Figur 3 se at den grønne horisontale linje krydser 'non-peak' omtrent i 'albue' punktet hvor kuren herefter (til højre flader ud).

4.4 Effektivitet

Selvom 'elbow-kurven' synes at understøtte en servicegaranti på maksimalt 10 minutter er det væsentligt at kigge på den samfundsøkonomiske effektivitet af de forskellige servicemål. Hvis basissituationen er 20 minutters maksimal ventetid kræver det relativt få yderligere opladere for at opnå en servicegaranti på maksimalt 10 minutter. Eksempelvis kræver det kun ca. 200-225 ekstra opladere at reducere den maksimale ventetid fra 20 minutter til 10 minutter for Scenarie 2 og 5.

Spørgsmålet er om denne forbedring af serviceniveauet er samfundsøkonomisk rentabelt?

Scenarie 2: Samfundsøkonomiske afkast ved at opretholde forskellige servicegarantier i forhold til en baseline på 10 min. Maksimum ventetid				
	ΔGns. ventetid	Δ99% ventetid	ΔVærdi af ventetid pr. år	ΔOmkostning ved antal chargers pr. år
5 min. maks. ventetid	-0,12 min.	-2,99 min.	-2,5 Mio. Dkk	10,6 Mio. Dkk
20 min. maks. ventetid	0,82 min.	9,54 min.	17,5 Mio. Dkk	-12,1 Mio. Dkk
50 min. maks. ventetid	4,10 min.	28,60 min.	87,2 Mio. Dkk	-21,3 Mio. Dkk

Tabel 2: Samfundsøkonomisk effekt for Scenarie 2 ved at gå fra en servicegaranti på maksimal 10 minutter ventetid til maksimalt 5, 20 og 50 minutters ventetid. Der antages at et år består af 365 normale dage.

I Tabel 2 ses det at det er samfundsøkonomisk effektivt at sikre en 10 minutters maksimal ventetid fremfor en 20 minutters garanti når de gennemsnitlige ventetidsbesparelser holdes op mod omkostningerne. Det samme er oplagt også tilfældet for en maksimal ventetid på 50 minutter. Omvendt er det ikke rentabelt at sikre en maksimal ventetidsgaranti på 5 minutter da omkostningerne her langt overskrider gevinsterne.

Scenarie 5: Samfundsøkonomiske afkast ved at opretholde forskellige servicegarantier i forhold til en baseline på 10 min. Maksimum ventetid				
	Δ Gns. ventetid	Δ 99% ventetid	Δ Værdi af ventetid pr. år	Δ Omkostning ved antal chargers pr. år
5 min. maks. ventetid	-0,07 min.	-2,84 min.	-1,6 Mio. Dkk	13,1 Mio. Dkk
20 min. maks. ventetid	0,50 min.	6,27 min.	10,6 Mio. Dkk	-10,9 Mio. Dkk
50 min. maks. ventetid	4,61 min.	33,12 min.	97,9 Mio. Dkk	-21,9 Mio. Dkk

Tabel 3: Samfundsøkonomisk effekt for Scenarie 5 ved at gå fra en servicegaranti på maksimal 10 minutter ventetid til maksimalt 5, 20 og 50 minutters ventetid. Der antages at et år består af 365 normale dage.

I Tabel 3 er efterspørgslen en smule lavere og den generelle øgning i maksimal ventetid ved at gå fra 10 til 20 og 50 minutters garantier er lavere. Det betyder at man ikke får helt det samme afkast på sparet ventetid ved at gå fra maksimale 10 minutter til 20 minutters ventetid. I tilfældet modsvarer afkastet omkostningerne og set fra et samfundsøkonomisk perspektiv er en 10 minutters og 20 minutters maksimal ventetid dermed stort set lige gode.

Det skal påpeges at der kan være en politisk og måske en efterspørgselsmæssig effekt ved stærke servicegarantier da dette kan påvirke indfasningen af elbiler. Derfor kan der være et vist argument for at 'over-investere' hvis man ønsker en hurtig indfasning. I denne model kigger vi ikke på andenordenseffekter på antal elbiler som følge af bedre garantier.

4.5 Andre effekter

Nedenfor i Figur 4 ses blandt andet at udnyttelsesgraden for systemet (i Scenarie 2) ligger på mellem 25-30% hvis en maksimal ventetid på 10 minutter skal opretholdes. Der er med andre ord på en normal dag ganske mange uudnyttede standere. I Figur 5 illustreres for Scenarie 2 den geografisk fordeling af 52 ladestationer samt deres installerede kapacitet (tallet i hver prik) og udnyttelsesgrad (farven).

Det bemærkes at der for store dele af Jylland er ganske små stationer med en relativ lav udnyttelsesgrad. I og omkring København er mønstret anderledes.

I grænseregionerne, hvor man ikke kender opladeinfrastrukturen på den anden side af grænsen (og som antages ikke at eksistere) er der problemer med for store stationer. Som tommelfingerregel kan disse kapaciteter reduceres med 50% hvis transportmønstret antages symmetrisk.

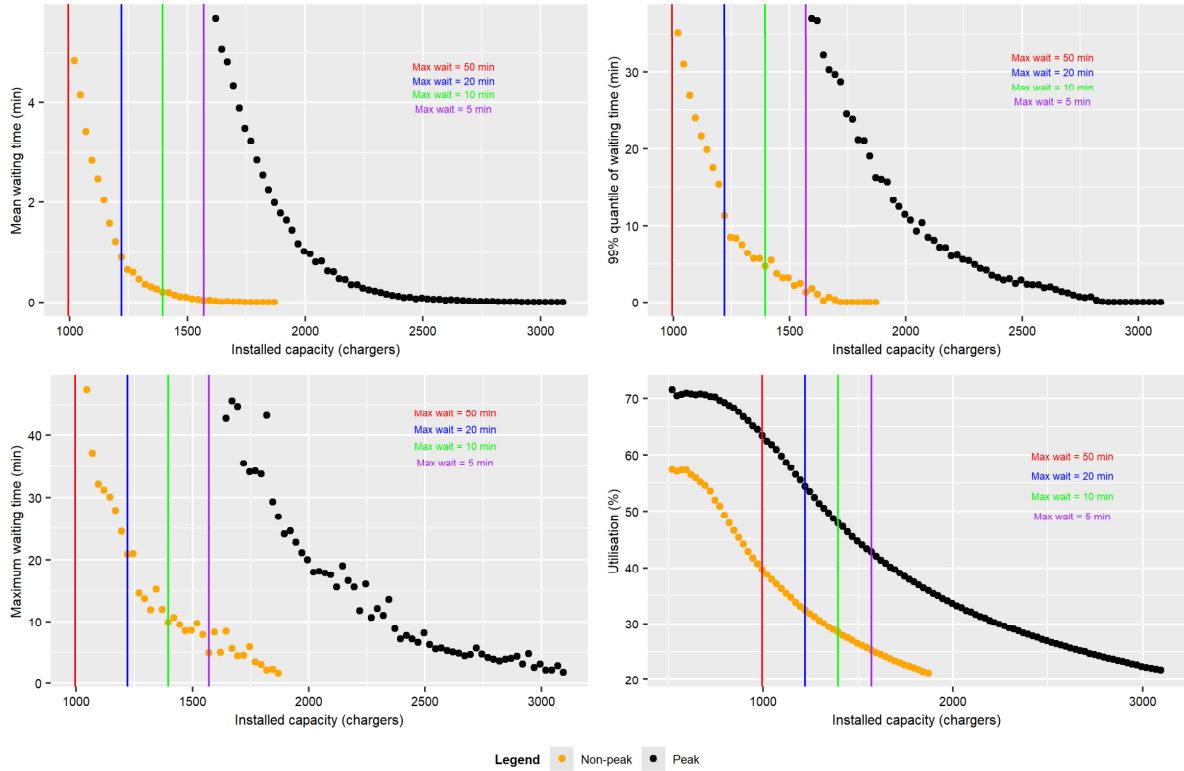
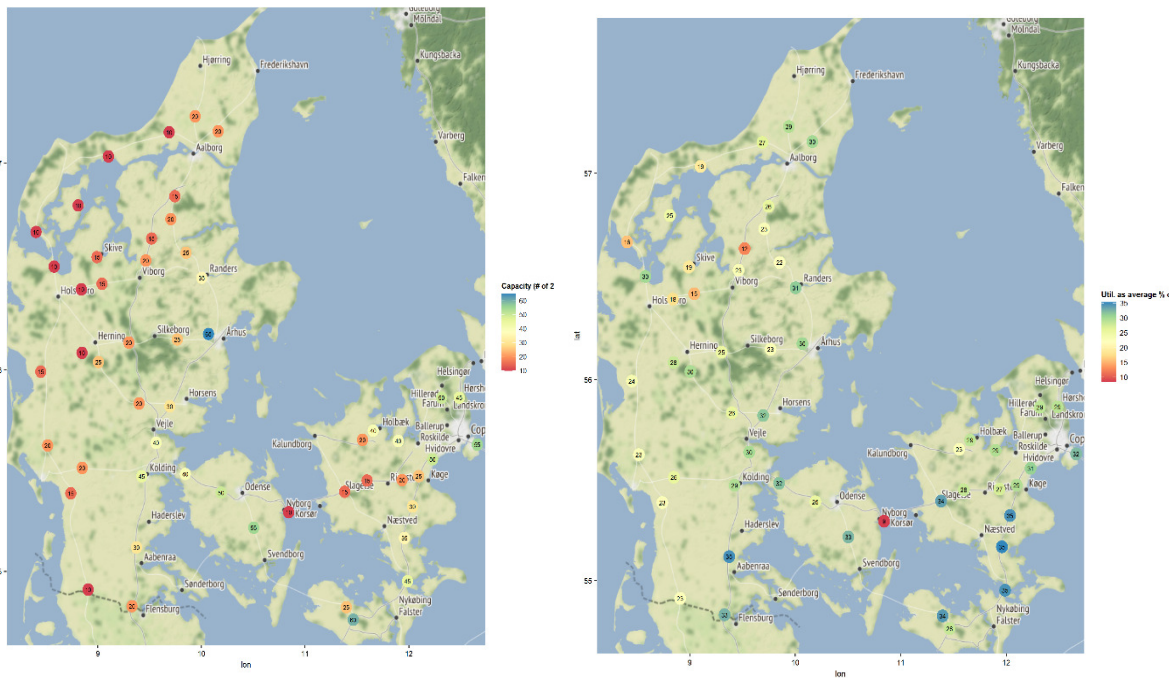


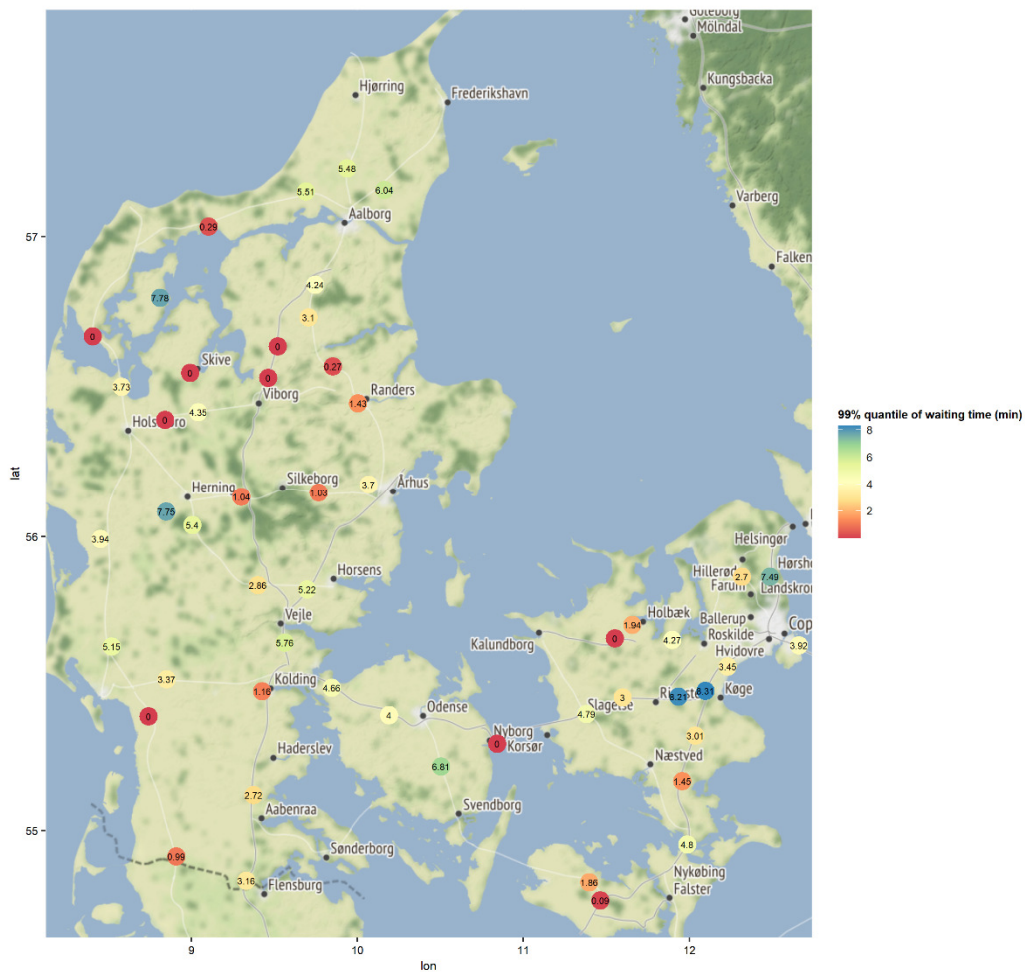
Figure 19: KPIs for Scenario 2

Figur 4: Præsentation af andre sammenhænge for Scenario 2 (basis scenariet) mellem kapacitet og systemoutput.



Figur 5: Geografisk placering af de enkelte opladestationer og deres optimale kapacitet og udnyttelsesgrad for Scenario 2.

Nedefor i *Figur 6* vises den geografiske fordeling af 99% percentilen for den maksimale ventetid ved hver ladestation. Man kan se at mønstret følger mønstret for *Figur 5*.



Figur 6: Geografisk fordeling af 99% percentilen for den maksimale ventetid.

5 Opsummering

I Chargo projektet analyseres behov for ladeinfrastruktur i 2030 for 24 scenarier forskellige efterspørgsels-scenarier. I systemet beregnes de afledte monetære ventetidsomkostninger samt omkostninger ved infrastruktur for forskellige scenarier og servicegarantier. I analysen findes følgende;

- Der er et landsdækkende behov for ca. 50 ladelokaliteter, som dog varierer betydeligt i størrelse mellem 10 og 60 ladestander.
- o Optimeringen af specifikke lokaliteter er generelt vanskelig og i nogen udstrækning tilfældig fordi optimeringsmetodikken anvender tilfældig sampling og fordi informationsdeling gør effekten af specifikke lokaliteter mindre betydende.
- For efterspørgsels-scenarier der vurderes sandsynlige i 2030, skønnes et behov på mellem 1300 og 1500 opladere på hver 200 kw.
- For de mest sandsynlige scenarier peger beregningerne på at servicegarantier på ca. 10 minutters maksimal ventetid er optimal.

- For bedre garantier modsvarer de øgede omkostninger ikke ventetidsbesparelserne.
- For dårligere garantier sker en voldsom stigning i ventetidsomkostningerne.
- Ved 10 min maksimal ventetid vil ventetiden for 99% percentilen være ca. 1/3.
- 99% percentilen af de maksimale ventetider kan overvejes som et bedre mål at opgøre garantien ud fra.
 - Den er 'blødere' i det man tillader 1% af opladningerne at overskride den maksimale ventetid.
 - Maksimal ventetid er et ekstrem som måske ikke opstår.
- For scenarier der skønnes at være optimale (ved 10 min maksimal ventetid) ligger den gennemsnitlige udnyttelsesgrad af standerne på mellem 25-30%.
- Analysen medregner ikke effekter af ladeinfrastruktur på et øget salg af elbiler. Såfremt opladeinfrastrukturen har en positiv effekt på efterspørgslen efter elbiler, kan der være et argument for at investere mere end analysen viser, hvis målet er end endnu hurtigere indfasning af elbiler.

6 Referencer

- Engelsk baggrundsrapport: Indeholder en teknisk beskrivelse af metoden og resultaterne.
- Engelsk teknisk papir: Vandet og Rich (2021). Optimal charging infrastructure for electric vehicles under information-sharing. Working paper.
- Engelsk teknisk papir: Rich, Vandet, og Pilegaard (2021). Cost-benefit of a state-road charging system: The case of Denmark. Working paper.
- Banedanmark, 2021: Omkostningsnotat: Christian Schørdorff (2021). Input vedr. omkostninger ved etablering af lade-infrastruktur. Banedanmark.