



**CHALMERS**

# Utformning av energiförsörjningsinfrastruktur för en elektrifierad fordonsflotta

Kandidatarbete inom Civilingenjörsprogrammet Elektroteknik

NILS BACKLUND  
ALICE LINDQVIST  
JOHAN SIMONSSON  
SAMUEL SJÖLÉN

**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2024

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



KANDIDATARBETE 2024

# Utformning av energiförsörjningsinfrastruktur för en elektrifierad fordonsflotta

Nils Backlund  
Alice Lindqvist  
Johan Simonsson  
Samuel Sjölen



**CHALMERS**

Institutionen för Elektroteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2024

Utformning av energiförsörjningsinfrastruktur för en elektrifierad fordonsflotta

Nils Backlund  
Alice Lindqvist  
Johan Simonsson  
Samuel Sjölen

© NILS BACKLUND, 2024.  
© ALICE LINDQVIST, 2024.  
© JOHAN SIMONSSON, 2024.  
© SAMUEL SJÖLÉN, 2024.

Handledare: Torbjörn Thiringer, Institutionen för Elektroteknik  
Examinator: Jimmy Ehnberg, Institutionen för Elektroteknik

Kandidatarbete 2024  
Institutionen för Elektroteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Skriven i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg 2024

## Abstract

The project investigates whether the capacity of the existing electricity grid is sufficient to support a fully electrified vehicle fleet. This has been done by constructing two different models in Python, one for charging cars during longer trips and one for cars in everyday use. The project calculates the amount of charging stations that will be needed in different areas. The report also concludes that the local grid in some cases needs support, in the form of local battery storage, to deliver the desired power to all charging stations used by cars on longer trips, without causing unnecessary queues at charging stations. However, for cars in everyday use, all desired power could be delivered without further changes. The local grid is well equipped to handle a transition to electric cars, but minor adjustments will be needed.

Keywords: BESS, BEV, charging infrastructure, climate change, electric grid, electric vehicles, EV, renewable energy

## Sammandrag

Projektet undersöker om kapaciteten hos det befintliga elnätet är tillräcklig för att stödja en helt elektrifierad fordonsflotta. Det har gjorts genom att konstruera två olika modeller i Python, en för laddning av bilar under längre resa och en för bilar i vardagligt bruk. Projektet beräknar den mängd laddstolpar som kommer behövas inom olika områden. Rapporten kommer även fram till att det lokala nätet i vissa fall är i behov av stöttning, i form av lokala batterilager, för att kunna leverera önskad effekt till alla laddstolpar som brukas av bilar på längre resor, utan orsaka onödiga köer vid laddstationer. För bilar under vardagligt bruk kunde däremot all önskad effekt levereras utan ytterligare förändringar. Det lokala nätet är väl rustat för att hantera en omställning till elbilar, men mindre justeringar kommer att behövas.

Nyckelord: Elektriska fordon, batterienergilagringssystem, BEV, elnätet, förnyelsebar energi, batterilager, hållbarhet, grön omställning, laddinfrastruktur

# Förord

Följande rapport är ett kandidatarbete som skrivits vid Institutionen för Elkraftteknik på Chalmers Tekniska högskola. Arbetet har genomförts av Nils Backlund, Alice Lindqvist, Johan Simonsson och Samuel Sjölen som går utbildningarna Elektroteknik och Teknisk fysik på Chalmers Tekniska högskola.

Vi vill börja med att tacka vår handledare Torbjörn Thiringer för sitt engagemang och vägledning genom arbetets gång. Tack riktas även till Trafikverket och Gunilla Le Dous på Mölndals energi för deras samarbete och snabba återkoppling. Avslutningsvis vill vi också tacka Jimmy Ehnberg för stöttning genom projektet.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Syfte . . . . .	2
1.2	Frågeställningar . . . . .	2
1.3	Avgränsningar . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Teoretisk bakgrund</b>	<b>4</b>
2.1	Elnätet och stödsystem . . . . .	4
2.1.1	Det lokala elnätet . . . . .	4
2.1.2	Batterienergilagringssystem . . . . .	5
2.2	Elbilar och tillhörande teknik . . . . .	6
2.2.1	Batterier och deras karaktäristik . . . . .	6
2.2.2	Laddning av elbilar . . . . .	6
2.3	Resvanor i Sverige . . . . .	8
2.3.1	Fordonsflöden längs E6 . . . . .	9
2.3.2	Resvanor i olika kommungrupper . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>12</b>
3.1	Modell för laddningsbehov under längre resor . . . . .	12
3.1.1	Placering av laddstationer . . . . .	12
3.1.2	Laddstationsmodell . . . . .	13
3.1.3	Utformning av laddstationer . . . . .	13
3.1.4	Sammanställd modell för en laddstation . . . . .	14
3.2	Modell för elbilar i vardagligt bruk . . . . .	14
3.2.1	Behov av publik laddning . . . . .	14
3.2.2	Fallstudie . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>17</b>
4.1	Utformning av laddstationer och dess energiförsörjning . . . . .	17
4.1.1	Placering av laddstationer . . . . .	17
4.1.2	Utformning av laddstationer . . . . .	18
4.1.3	Sammanställd modell för en laddstation . . . . .	21

4.2	Elbilars behov av laddning under vardagligt bruk . . . . .	22
4.2.1	Antal personer i behov av publik laddning . . . . .	22
4.2.2	Fall 1: Optimala laddningsvanor och maximal parkeringsbelastning	23
4.2.3	Fall 2: Optimala laddvanor och hänsyn till belastning på parke- ringsplatser med laddstolpar . . . . .	26
4.2.4	Fall 3: Realistiska laddningsvanor . . . . .	27
4.2.5	Laddning i de olika kommungrupperna . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>31</b>
5.1	Utvärderingen av laddstationsmodellen för elbilar under längre resor . .	31
5.1.1	Analys av graferna . . . . .	31
5.1.2	Förbättringar av modellen . . . . .	32
5.2	Utvärdering av laddningsbehov under vardagligt bruk . . . . .	33
5.2.1	Analys av elbilars laddningsbehov under vardagligt bruk . . . .	33
5.2.2	Diskussion av modellen och praktiska genomförbarhet för elbilars laddningsbehov i daglig användning . . . . .	35
5.3	Utmaningar och begränsningar i elnätet . . . . .	36
5.4	Verklighetsutvärdering: En översikt av modellerna . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>38</b>
	<b>Referenser</b>	<b>39</b>
<b>A</b>	<b>Genomsnitt av populära elbilar</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Effekter inom exempelområden</b>	<b>II</b>

# 1

## Inledning

Den globala uppvärmningen och dess effekter är ett av de största hoten mot dagens samhälle. IPCC, FN:s klimatpanel, hävdar att den globala uppvärmningen redan idag påverkar människor negativt, då extremväder exempelvis leder till matbrist [1]. Även om utvecklingen går framåt så görs det fortfarande inte nog för att stoppa utsläppen, bromsas de inte snarast riskerar oåterkalleliga effekter snart att bli verklighet [1].

Sambandet mellan utsläpp av koldioxid i atmosfären och uppvärmning av planeten har varit känt ända sedan 1800-talet [2]. Trots det är många sektorer runtom i världen idag beroende av teknik som drivs av fossila bränslen och därmed leder till koldioxidutsläpp. De årliga utsläppen av koldioxid ökar dessutom idag, för att vända trenden krävs nya tekniker som inte är beroende av fossila bränslen [3]. Transportsektorn är ett bra exempel på en sådan sektor som idag är mycket beroende av fossila bränslen. Globalt sett stod sektorn för ca 22 % av de totala utsläppen under år 2022, medan den i Sverige stod för ca 30 % av de totala utsläppen [4], [5]. I Sveriges fall kan en stor del av transportsektorns utsläpp härledas till vägtrafiken, och då särskilt personbilar [6]. Det innebär att en utsläppsfri fordonsflotta skulle göra stor skillnad vid försök att minska utsläppen för både världen och Sverige. Det finns idag flertalet tekniker tillgängliga för att minska utsläppen från biltrafiken, men den teknik som flest biltillverkare satsar på just nu är elbilar, alltså bilar som drivs av elektriska motorer och använder elektrokemiska batterier för att lagra energi hämtad direkt från elnätet. År 2023 utgjorde dessa bilar ca. 39 % av nybilsförsäljningen i Sverige [7].

Omställningen till elbilar är dock inte helt problemfri. Det finns idag cirka 5 000 000 bilar i Sverige, om alla dessa bilar skulle ställa om till eldrift innebär det en markant ökad belastning på elnätet [8]. Den nya infrastrukturen behöver fungera på ett lika felfritt sätt som den infrastruktur som är uppbyggd kring dagens fordonsflotta gör, annars riskerar omställningen till en fossilfri fordonsflotta att dröja ytterligare. Den här rapporten ämnar att undersöka hur den nya infrastrukturen behöver utformas för att den ska fungera likvärdigt med infrastrukturen som är uppbyggd kring dagens fordonsflotta.

### 1.1 Syfte

Rapportens syfte är att se över huruvida det befintliga elnätet har kapacitet nog för att försörja en fordonflotta bestående av enbart elektriska personbilar. Om så ej är fallet ska möjligheten att använda batterilager, alternativt att bygga ut elnätet utredas.

### 1.2 Frågeställningar

För att besvara frågan om huruvida det befintliga elnätet har kapacitet nog att försörja en elektrifierad fordonsflotta med elektricitet måste först behovet hos den elektrifierade fordonsflottan utredas. Närmare bestämt hur ofta behöver elbilar laddas, samt hur många laddstationer som behövs för att tillåta alla bilar att ladda när de är i behov av det. Först därefter går det att se om elnätet är tillräckligt rustat för att möta den ökade efterfrågan.

Behoven hos bilar som befinner sig på längre resor och behoven hos bilar som befinner sig under ett mer vardagligt bruk kommer att utredas separat. De två typerna ansågs vara för olika för att kunna producera ett gemensamt resultat som täckte bådas behov. Med andra ord vill arbetet besvara följande frågor:

- Hur ser det vardagliga behovet av laddning för elbilar ut?
- Hur ska laddstationerna placeras samt hur många laddstolpar ska de bestå av för att täcka behovet av elbilar på längre resor?
- Har dagens elnät kapacitet nog för att försörja en elektrifierad fordonsflotta med elektricitet?
- Är det möjligt att använda ett lokalt batterilager som komplement till elnätet ifall det inte räcker till?

där vardagligt bruk innebär att bilen körs kortare sträckor varje dag till och från jobb samt att den över natten står parkerad vid förarens bostad. Längre resor sker generellt mer sällan och kan inte nyttja samma laddningsmöjligheter som används under vardagligt bruk.

## 1.3 Avgränsningar

Projektet kommer enbart att fokusera på personbilar och bortser från övrig trafik såsom tunga fordon. Projektet kommer även enbart att fokusera på det lokala elnätet, eftersom att data för transmissions- och regionnätet är väldigt svåråtkomlig. Projektet tar inte heller hänsyn till kostnaden för olika lösningar. Slutligen kommer projektet enbart att grundas på redan befintlig data och väl etablerade tekniker, till exempel kommer inte "vehicle to grid" eller nya typer av batterier tas upp som lösningar då de inte anses vara testade i tillräckligt stor skala. För längre resor undersöks enbart fordonsflöden längs E6.

# 2

## Teoretisk bakgrund

Följande avsnitt kommer att behandla teori som är central i projektet. De olika avsnitten tar upp viktiga detaljer som rör elnätet, elbilar och människors resvanor. Delarna är viktiga att förstå för att kunna tolka projektets olika delar och de resultatet som producerats.

### 2.1 Elnätet och stödsystem

Sveriges elnät är indelat i tre huvuddelar, transmissionsnätet, regionnätet samt lokalnätet. Transmissionsnätets syfte är att transportera elektricitet från områden där produktion sker till de områden där elektriciteten förbrukas [9]. För att göra det med minimala förluster används spänningsnivåer på 400 kV eller 220 kV. Region- och lokalnätet använder sig å andra sidan av lägre spänningsnivåer på 130 kV respektive 40 kV eller lägre [9]. Elnäten, som ligger närmre slutanvändaren och därför klarar sig med de lägre spänningsnivåerna, kallas gemensamt distributionsnätet. I helhet transporterar regionnätet elektricitet från transmissionsnätet till lokalnätet som därefter leverar ut till slutanvändaren.

Förbrukningen av elektricitet har varit relativt kontinuerlig de senaste decennierna. Mellan åren 2001 och 2022 låg hushållens förbrukning av elektricitet kontinuerligt runt 35 TWh med en varians på  $\pm 3$  TWh [10]. Inte heller landets totala förbrukning har genomgått någon relativt större förändring, trots att den har ökat lite till skillnad från hushållens totala förbrukning.

#### 2.1.1 Det lokala elnätet

Till varje kontaktpunkt i det lokala elnätet går det två kablar, en ”normal” och en ”reserv”. Målet är att förbrukningen skall fördelas jämnt mellan dessa. Tre exempel på områden inom det lokala elnätet har givits av Gunilla Le Dous som arbetar på Mölndal Energi. Dessa exempelområden i Tabell 2.1, 2.2 och 2.3 visar den maximala belastningen som ledningen kan transportera samt de toppvärden som ledningen har

utsatts för under december. Normalt ligger belastningen dock lägre än toppvärdena, för område 1 ligger exempelvis normalt belastningen mellan 40 A och 50 A. Alla tre elområden matas med en spänning på 10 kV.

**Tabell 2.1:** Kabel i område 1, bostadsområde utanför större stad.

Kabel	Max belastning	Toppvärde i dagsläget
Normal	180 A	86 A
Reserv	210 A	77 A

**Tabell 2.2:** Kabel i område 2, bensinstation vid större väg.

Kabel	Max belastning	Toppvärde i dagsläget
Normal	270 A	106 A
Reserv	270 A	127 A

**Tabell 2.3:** Kabel i område 3, landsbygd vid större väg.

Kabel	Max belastning	Toppvärde i dagsläget
Normal	210 A	149 A
Reserv	270 A	123 A

### 2.1.2 Batterienergilagringssystem

Batterilagring som en lösning för effektkompensering i elnätet har fått ökad uppmärksamhet på grund av dess förmåga att stabilisera energiflöden och hantera variationer i produktion och efterfrågan [11]. Genom att fungera som energilagrar kan batterier absorbera överskott av energi under perioder av hög produktion och leverera den när efterfrågan överstiger tillgången [12]. Denna flexibilitet möjliggör en mer effektiv användning av befintliga energiresurser och minskar behovet av att snabbt aktivera eller avaktivera traditionella kraftverk för att balansera nätet [11].

Batterilagringssystem erbjuder flera fördelar, inklusive snabb respons och hög effektivitet vid energiöverföring. Genom att integrera batterier i elnätet kan frekvensvariationer minskas och spänningsstabilitet förbättras, vilket leder till en ökad pålitlighet och kvalitet på den levererade elektriciteten [13]. Dessutom möjliggör batterilagring en smidigare integrering av förnybara energikällor som sol- och vindkraft, som ofta uppvisar intermittenta produktionsmönster [12]. För att maximera nyttan med batterilagringssystem i elnätet krävs dock noggrann planering och optimering av dess driftsparametrar [14]. Detta innefattar att fastställa lämpliga kapaciteter, utformning av styrstrategier och integrering av avancerade styr- och övervakningssystem för att säkerställa optimal prestanda och tillförlitlighet.

## 2.2 Elbilar och tillhörande teknik

Idag finns det över 330 000 elbilar registrerade i Sverige, varav ca. 120 000 registrerades under 2023 och 2024 [15]. Det är alltså en teknik som växer snabbt, men teknologin som gör bilarna möjliga skiljer sig avsevärt från den infrastruktur som idag är uppbyggd kring fossildrivna bilar. Följande avsnitt kommer att djupare introducera några av de tekniker som är essentiella för att en fordonsflotta bestående av enbart elbilar ska kunna existera.

### 2.2.1 Batterier och deras karaktäristik

Batteriet är en viktig komponent för elbilar i den bemärkelse att den har en stor inverkan på bilens räckvidd, och trots att det är en förhållandevis dyr komponent är den relativt känslig [16]. För att fungera optimalt är batterierna beroende av en omgivande temperaturer mellan 20°C och 40°C, vid lägre temperaturer riskerar urladdningen av batteriet att påskyndas, och därmed minskar bilens totala räckvidd [17]. Användning i för höga temperaturer riskerar å andra sidan att slita mer på batteriet och i slutändan resultera i en kortare livslängd [18].

Vidare kan ökat slitage också uppstå i de fall där batteriet inte laddas på ett optimalt sätt. Den optimala laddcykeln bör starta vid 20 % och sedan avslutas vid 80 % för att minimera slitaget på batteriet [19]. Många elbilar är utrustade med programvara som kan hjälpa till att reglera detta genom att automatiskt avsluta uppladdningen då den angivna uppladdningsgraden nåtts [20], [21]. En för snabb laddcykel kan också ha en negativ påverkan på batteriets hälsa. Trots att snabbaddning är önskvärt ur ett tidsperspektiv har det en negativ påverkan på batteriets hälsa, och påskyndar dess åldrande [19].

Storleken på batteriet varierar mellan olika bilmodeller. Dock utgörs de två senaste årens nyregistrerade bilar till 41 % av sex bilmodeller. Bilmodellerna med tillhörande data finns listade i Tabell A.1 i appendix A.

### 2.2.2 Laddning av elbilar

Laddare med växelström kallas oftast för AC-laddare och kan delas in i tre kategorier beroende på fasström och maximal uteffekt. I den första kategorien ingår AC-laddare med enfas och maximal uteffekt på mindre än 7,4 kW, den andra har trefas med uteffekt mellan 7,4 kW och 22 kW och den tredje har trefas med uteffekt över 22 kW [22]. De två första kategorierna kallas för normalladdning och är den typ av laddstolpe som används då elbilar ska ladda under längre perioder i anslutning till hemmet eller vid arbetsplatsen [23]. Laddare som levererar likström till elfordon brukar kallas för DC-laddare och kan delas in i fyra kategorier beroende på maximal uteffekt. Den första har en uteffekt på mindre än 50 kW, den andra mellan 50 kW och 150 kW, den tredje

mellan 150 kW och 350 kW och den fjärde innefattar allt över 350 kW [22]. De två förstnämnda kallas för långsam och snabb laddstolpe medan de två sistnämnda benämns som ultrasnabba laddstolpar [22]. Dessa laddare benämns ofta som snabbaddare och placeras vanligtvis längs med stora vägar där de används för att ladda under kortare tidsperioder [23].

Vilka tider som personer står parkerade och laddar sina elbilar vid hemmet eller på arbetsplatsen beror på deras arbetstider. I Sverige fanns år 2022 4,4 miljoner anställda där 79% av dessa arbetade heltid, 71% jobbade enbart dagtid (arbetstider mellan 6 och 18) och 63% av samtliga anställda arbetade enbart vardagar [24]. Detta innebär att majoriteten arbetare i Sverige jobbar dagtid och vardagar och har därmed sina bilar parkerade under liknande tider.

Beteendet kring när personer står parkerade är däremot inte direkt synonymt med tiderna som personer laddar sin elbil. Enligt [25] kan individers laddningstrategier kategoriseras i följande tre grupper:

1. "Liquid-fuel strategy": Laddning då batteriet på bilen är lågt
2. "Plan ahead strategy": Planerar i förväg när laddning behövs genom att exempelvis tänka om batteriet till nästkommande resa räcker eller inte.
3. "Event-triggered charging": Laddning i samband med specifika platser, till exempel vid en restaurang, matbutik eller arbetsplats. Kan parkera för laddning utan att ha i åtanke att laddningen ska slutföras.

Vid betraktelse av den totala energin från laddare till elfordon dag- och nattetid i Västra Götaland som studien grundas på kunde det ses att personer utan tillgång till privat laddstolpe för hemmaladdning främst laddar dagtid med strategi 2 och 3 och strategi 1 under nattetid, men generellt sätt mer laddning under dagtid [25]. För personer med tillgång till privat laddstolpe vid sin bostad var det tvärtom, då laddar personer främst över natten och med strategierna 1 och 2, för dagtid är det strategi 3 som dominerar [25]. Detta beror på att enbart ett fåtal personer som bor i lägenheter i Västra Götaland år 2023 hade tillgång till publik AC-laddning på parkeringar nära hemmet [25].

I en fältstudie i Berlin studerades 79 elbilanvändares laddningsvanor där alla hade daglig tillgång till privat laddning i anslutning med hemmet sådana att alla kunde ladda enligt sina personligt föredragna laddningsvanor [26]. Från användarnas loggade laddningstillfällen framgick att 66% laddade sina fordon då batteriet i genomsnitt hade mindre än 40% kvar av sin totala kapacitet [26]. Mer detaljerad beskrivning av genomsnittlig batterinivå vid start av laddning för användarna ses i Tabell 2.4. Den högsta andelen personer laddar inom intervallet 30-35v vilket kan relateras till standardiserade laddningsnivåer då elbilen varnar för låg batterinivå som sker vid 30% [26]. En pik ses

även för 15-20 % bland de lägre startprocenten för start av laddning vilket kan kopplas till den andra varningen som ges av bilarna vid 15 % [26].

**Tabell 2.4:** Genomsnittliga procent av bilbatteri vid start av laddning [26].

Procent start laddning	Andel personer (%)
10-15	1,4
15-20	8,4
20-25	1,4
25-30	4,2
30-35	14,4
35-40	4,2
40-45	10
45-50	8,4
50-55	10
55-60	8,4
60-65	10
65-70	8,4
70-75	3,8
75-80	4,2
80-85	1,4
85-90	1,4

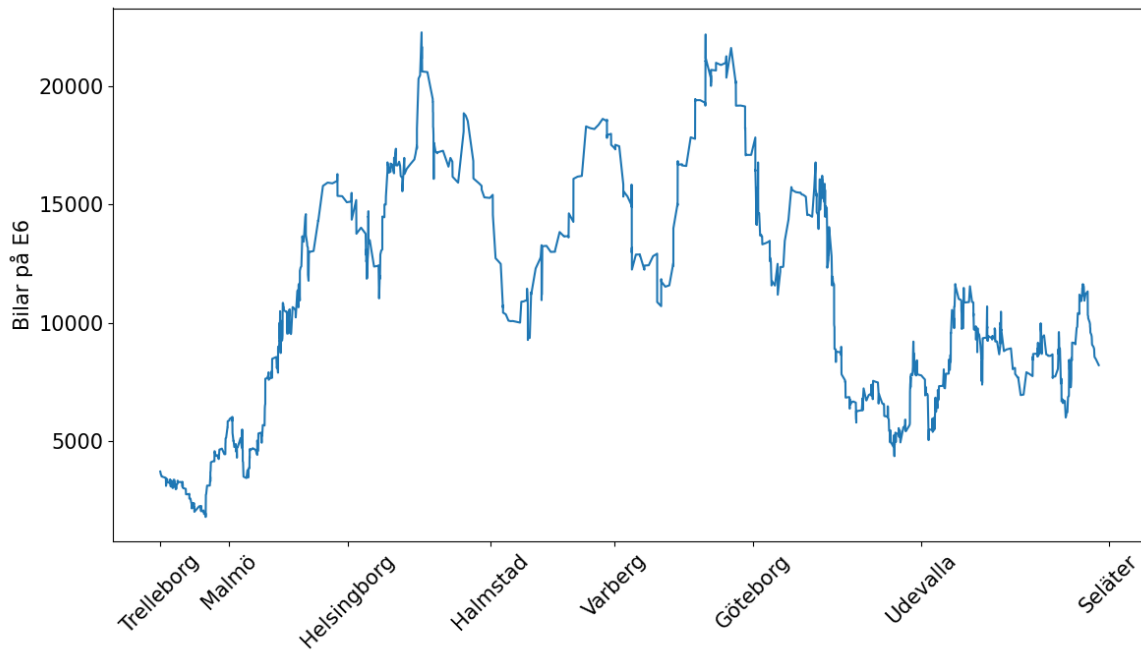
Som det nämns om i 2.2.1 är det optimalt att ladda elbilen mellan 20 % och 80 % och är därför något som laddinfrastrukturen ska uppmuntra till att göra. En av de största faktorerna för att styra personers resmönster är antal parkeringsplatser [27]. För att bidra till optimala laddningssituationer behövs därför bra möjligheter till publika laddstationer med AC-laddning nära hyresrätter. En optimal beläggningsgrad på en parkeringsplats är 85-90 % för att inte generera onödig söktrafik och trängsel men ändå ha en effektiv markanvändning [27].

### 2.3 Resvanor i Sverige

Hur människor kör är en viktig parameter att ta hänsyn till för att fullt ut förstå behovet av laddstolpar. Avsnittet kommer till att börja med behandla fordonsflöden längs E6, därefter tas även resmönster i olika kommungrupper upp. Datan som presenteras ligger till stor grund för projektet.

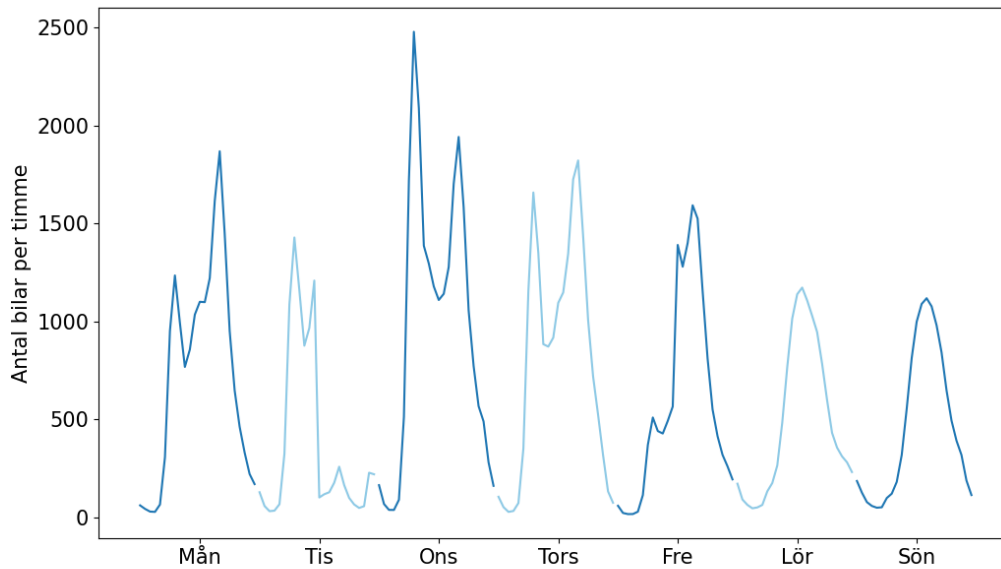
### 2.3.1 Fordonsflöden längs E6

E6 löper från Trelleborg i Sverige till Kirkenes i Norge. Den förbinder två av Sveriges största städer, Malmö och Göteborg, med varandra och är trafikerad dygnet runt. Figur 2.1 visar hur årsmedeldygnstrafiken (ÅDT) varierar längs hela svenska delen av E6 som är 480 km lång. Figuren är baserad på data given av Trafikverket, där olika mätpunkter längs vägen har mätts under olika dagar mellan år 2019 och 2023. Det har också applicerats ett rullande medelvärde på 50, med ett totalt antal mätpunkter på drygt 1600 stycken.



**Figur 2.1:** Årsmedeldygnstrafik längs E6 mellan Trelleborg och Seläter, med ytterligare städer markerade längs x-axeln. Data given av Trafikverket.

Figuren visar att trafiken varierar kraftigt vid olika delar av vägen. Plats är dock inte det enda som har en betydelse för hur trafiken varierar, tiden på dygnet spelar också stor roll för fordonsflödena, vilket visas i Figur 2.2. Även denna figur är baserad på data som givits av Trafikverket. Ett genomsnitt baserat på de 700 mätpunkterna för varje veckodag har gjorts för mätningar mellan år 2019 och 2023.



**Figur 2.2:** Exempel på hur fordonsflödet kan variera under sju dygn vid en viss plats längs E6. Data given av Trafikverket.

### 2.3.2 Resvanor i olika kommungrupper

Sveriges 290 kommuner delas enligt [28] in nio kommungrupper, vars definitioner sammanfattas i Tabell 2.5. Indelningen är baserad på befolkningsmängd, befolkningstäthet samt närhet till större städer och tätorter, med klassificering som gällt sedan år 2023.

**Tabell 2.5:** Sammanfattning av de olika kommungrupperna [28].

Beteckning	Namn	Förklaring
A1	Storstäder	Den största tätorten i kommunen behöver ha minst 200 000 invånare.
A2	Pendlingskommun nära storstad	Av kommunens invånare behöver åtminstone 40% pendla till en storstad.
B3	Större stad	Kommunens största tätort behöver befolkas av mellan 40 000 och 200 000 personer.
B4	Pendlingskommun nära större stad	Av kommunens invånare behöver åtminstone 40% pendla till en större stad.
B5	Lågpendlingskommun nära större stad	Av kommunens invånare pendlar mellan 25% och 39% till en större stad.
C6	Mindre stad/tätort	Kommunens största tätort behöver befolkas av mellan 15 000 och 40 000 personer.
C7	Pendlingskommun nära mindre tätort	Av kommunens invånare pendlar mellan 25% och 39% till en större stad.
C8	Landsbygdskommun	Färre än 15 000 invånare i kommunens största tätort, låg andel pendlare.
C9	Landsbygdskommun med besöksnäring	Landsbygdskommun där omsättningen inom några turistorienterade branscher uppnår en viss nivå per capita.

Det ses i Tabell 2.5 att kommunerna består av tre huvudgrupper med två till fyra undergrupper var. Undergrupperna A1, B3 och C6 kännetecknas av sin befolkningsmängd i kommunens största stad medan kommungrupperna A2, B4, B5 och C7 definieras utifrån antal pendlare i kommunen. Grupperingarna används för att kunna generalisera beteendemönster hos befolkningen i kommunerna och därmed tillåta enklare analys av Sverige ur ett regionalt perspektiv. Exempel på ett sådant mönster är resvanor. Data från [29] finns sammanfattad i Tabell 2.6 som redovisar den genomsnittliga sträckan varje person färdas i en bil dagligen i de olika kommungrupperna. I tabellen presenteras även sammanställd befolkningsmängd och antal registrerade fordon i Sverige år 2022 för kommungrupperna [30], [31].

**Tabell 2.6:** Antal kommuner, total befolkningsmängd, andel registrerade personbilar och andel personer bosatta i hyresrätter för respektive kommungrupp samt genomsnittlig individuell daglig färd i bil för personer bosatta i kommungruppen [28], [30], [31], [29].

Kommungrupp	Kommuner	Befolkningmängd	Bilar (%)	Hyresrätter (%)	Färdlängd(km)
A1	3	1 938 966	35	30	22
A2	43	1 994 229	44	14	29
B3	23	2 667 911	46	23	21
B4	63	1 044 700	54	14	25
B5	24	507 381	55	17	31
C6	27	1 144 299	55	17	22
C7	51	560 848	57	13	33
C8	35	435 916	59	15	27
C9	21	140 427	62	12	28

# 3

## Metod

Arbetet har utgått från listade bilmodeller i appendix A Tabell A.1. Utifrån det har två modeller producerats med hjälp av Python och tillhörande underbiblioteken matplotlib, numpy och pandas. De båda modellerna har som syfte att utreda hur stort antal laddpunkter som fordonsflottan är i behov av, men i olika miljöer. Den första modellen undersöker hur behovet av laddpunkter ser ut för elbilar som befinner sig på längre resor, medan den andra modellen undersöker behovet av laddpunkter i vardagsmiljöer. I båda momenten undersöks därefter om det nuvarande elnätet är tillräckligt utbyggt för att stötta det kommande behovet av laddpunkter.

### 3.1 Modell för laddningsbehov under längre resor

Under längre resor utnyttjas generellt snabbbladdare då målet är att köra långt med få och korta uppehåll. Följande avsnitt kommer hantera var laddstationer bör vara placerade och hur de ska vara utformade i två olika delar. Hur de ska vara utformade kan delas in i hur många laddare de behöver för att hantera en viss mängd bilar och hur effekten till och från en laddstation kan hanteras. Ett fall av detta presenteras därefter i en resulterande modell. För att förenkla modellerna används en snittbil baserad på ett medelvärde av de bilar listade i A Tabell A.1.

#### 3.1.1 Placering av laddstationer

Modellen har utgått från att elbilsförare ska kunna ladda sitt fordon inom ett intervall om 10% av batteriet från tidpunkten då föraren känner att laddning skulle behövas. Avståndet mellan två laddstationer beräknades därmed behöva vara inom ett intervall om 50 km för att uppfylla kravet för snittbilen med en räckvidd på cirka 500 km. Stationerna antogs placeras enligt en normalfördelning inom det givna intervallet med ett konfidensintervall på 95%. Valet av plats kan därmed göras där elnätet redan är utbyggt, exempelvis vid bensinstationer.

E6 delades därefter in i intervall för att beräkna ett medelvärde på antalet bilar som passerar olika delar av vägen under ett dygn. Intervallen som användes var det genomsnittliga avståndet mellan två stationer enligt normalfördelningen. Antalet bilar som passerade togs fram med hjälp av vägens medeldygnstrafik under 2019 till 2022 från avsnitt 2.3.1.

#### 3.1.2 Laddstationsmodell

För att förstå hur en laddstation med batterilagring, kopplad till elnätet, fungerar utvecklades en laddstationsmodell. Modellen syftar till att visa det nödvändiga antalet laddpunkter vid en station med en viss trafik och undersöka hur ett batteri kan användas för att kompensera när elnätets effekt är otillräcklig. Bilar antogs anlända kontinuerligt varje minut enligt en Poissonfördelning baserad på det genomsnittliga antalet bilar per timme. Bilarnas genomsnitt baserades i sin tur på data som visar veckovariationer timme för timme i trafikflödet, vilket framgår av Figur 2.2. Denna data normaliserades för att spegla medelantalet bilar som passerar under en dag, som kan varieras.

Bilarna som anländer till laddstationen antogs anlända med 10 % batteri och omedelbart uppta en tillgänglig laddstolpe. Om alla stolpar är upptagna placeras de i kö tills en stolpe blir ledig. Under tiden bilar laddas uppdateras batterinivån för både laddstationens eget batteri och de elbilar som laddas. Bilarna antogs ha laddat färdigt vid 80 % av batterinivån och lämnar därefter sin plats till nästa bil i kön. Modellen övervakar kontinuerligt antalet bilar som laddar, de som väntar, samt hur länge varje bil måste vänta på sin tur att ladda.

#### 3.1.3 Utformning av laddstationer

Med hjälp av laddstationsmodellen var det möjligt att se hur länge personer behöver vänta vid laddstationen beroende på antalet laddstolpar, vilket optimerades för att precis bli noll, så att det inte byggs mer laddstolpar än vad som kommer används. I detta fall antogs det att effekten till laddstationen var mer än tillräcklig för att kunna ladda elbilarna. För att hitta sambandet mellan optimala antalet laddstolpar och medelantalet bilar per dygn som behöver ladda användes laddstationsmodellen där antalet laddstolpar och antal bilar varieras tills dess att väntetiden precis blivit noll, och därefter kommer detta värde plottas och en kurva kommer anpassas till det.

Fortsättningsvis användes laddstationsmodellen för att ta fram elnätets effekt till laddstationen som krävs beroende på medelantalet bilar som laddar på stationen per dygn, samt storleken som behövs för laddstationens batteri i förhållande till medelantalet bilar på ett dygn. Vid framtagandet av sambandet mellan batteriets storlek och antalet elbilar betraktades tre olika fall med antagna värden på effekten in till batteriet. Värdena är 2 800 kW, 3 000 kW och 3 200 kW vilket baserades på Tabell B.1 i appendix B. I samtliga fall varierades batteristorleken och medelantalet bilar per dygn och förhållandet mellan

värdena som gav en väntetid som precis blivit noll plottades med en anpassad kurva för samtliga fall. På liknande sätt beräknades effekten till laddstationen och medelantalet bilar per dygn. Effekten in och antalet bilar varierades för att minimera väntetiden då batteristorleken var 2000 kWh. Även här anpassades en kurva.

#### 3.1.4 Sammanställd modell för en laddstation

Avslutningsvis kopplades alla delar ihop för att bestämma antalet stolpar, batteristorlek och effekt som behövs för att täcka behovet av laddning på en viss plats längs med E6. Fallet som studerades var det värsta scenariot, då alla bilar som passerar den mest trafikerade punkten längs vägen antogs vilja ladda vid laddstationen. Effekt in till batteriet antogs vara 3000 kW vilket är i det lägre intervallet för den kvarvarande kapaciteterna från exempelområdenas effekt enligt Tabell B.1 appendix B. Med hjälp av det kunde batteristorlek och antalet laddstolpar bestämmas för att klara antalet bilar genom att avläsa värden från de anpassade kurvorna i laddstationsmodellen. Detta plottas för en medelvecka för E6.

## 3.2 Modell för elbilar i vardagligt bruk

För att ta reda på behovet av laddning i vardagligt bruk togs en modell fram som beräknade en approximation av antalet laddstolpar som skulle behövas för samtliga kommuner i Sverige. För att göra detta gjordes först en uppskattning på vilka personer som behöver använda sig av publik laddning. Därefter delades modellen in i tre olika fall som tar fram antalet laddstolpar som behövs beroende på olika uppskattningar och antaganden som görs. Avslutningsvis beräknades ett exempelfall på hur elnätet påverkas av en parkeringsplats med laddningsmönster enligt det ena fallet.

### 3.2.1 Behov av publik laddning

Gruppen av personer som är i behov av publik laddning antogs bestå av personer över 20 år bosatta i hyresrätter då bilägare bosatta i övriga boendeformer ansågs ha möjlighet till privat installation av laddningsstation vid hemmet. Hur många personer bosatta i hyresrätter som är bilägare i kommunerna framtogs som produkten av befolkningsmängden i åldrar över 20 år boende i hyresrätter och andelen bilägare i kommunen. Andelen bilägare uppskattades vara antalet registrerade bilar i kommunen delat med befolkningsmängden över 20 år i kommunen. Data för befolkningsmängd i olika åldrar och boendeformer samt antal registrerade bilar erhöles för år 2022 [30], [31]. Antalet personer i behov av publik laddning summerades för varje kommungrupp tillsammans med andel av den totala befolkningsmängden i kommungruppen som dessa personer motsvarar.

För att avgöra antalet personer som behöver ladda per dag togs det i modellen fram hur många dagar som går mellan två laddningstillfällen, vilket beräknas som kvoten mellan distansen en bil färdas på en laddning och färdlängden som en person färdas per dag. Distansten som en person färdas per dag utgick från genomsnitt för de olika kommungrupperna enligt Tabell 2.6. Sträckan som en bil färdas per laddning framtoogs med värden för bilarnas batteristorlek och bilens snittförbrukning från appendix A Tabell A.1, samt antal procentenheter av batteriet som en person använder mellan två laddningar. Antalet bilar per dag som behöver laddas viktades utefter andel bilar av varje modell, värdena som användes ses i appendix A Tabell A.1.

#### 3.2.2 Fallstudie

Modellen delades därefter in i tre olika fall. I det första fallet antogs batteriet laddas mellan 20 % och 80 % då det anses vara optimalt för batteriets hälsa enligt avsnitt 2.2.1. Det antogs även att samtliga parkeringsplatser med tillgängliga laddningsmöjligheter används om alla elbilsanvändare laddar enligt uppskattningarna.

Med antaganden som gjorts plottades antalet dagar mellan två olika laddningstillfällen för olika färdlängder som personer färdas med bil per dag. Detta gjordes för samtliga bilmodeller med markeringar för de olika kommungruppernas värden. Med angivna värden för antalet dagar mellan laddning för de olika kommungrupperna från avläsning av plotten och viktning av bilmodellerna kunde även antalet laddstolpar som behövs per person boende i hyresrätter för samtliga kommuner i Sverige plottas, vilket var lika med antalet personer i behov av laddning per dag per person i fallet. Det totala antalet laddstolpar som behövdes i respektive kommungrupp summerades. Hur stor andel av den totala befolkningen och andelen av bilägarna som behöver ladda per dag i gruppen beräknades.

För det andra fallet togs parkeringsplatsernas fyllnadsgrad med i beräkningarna, som antogs vara 85 % av alla laddpunkter enligt avsnitt 2.2.2. Detta gjorde att antalet laddstolpar per person bosatt i hyresrätt kunde plottas för samtliga kommuner på samma sätt som för fall 1. Även antalet laddstolpar som detta skulle motsvara för varje kommungrupp bestämdes.

I det tredje fallet antogs människor påbörja laddning av sin bil utifrån ett mer realistiskt perspektiv. Hur antalet dagar mellan två laddningstillfällen för de olika kommungrupperna och hur antalet laddstolpar som behövs i fallet förändrades beroende på antalet procentenheter av bilbatteriet som personer använder mellan laddningstillfällen plottades. Därefter användes Tabell 2.4 för att uppskatta vilka procentenheter som personer laddade mellan. Från tabellen togs medelvärdet av varje femprocentsintervall som startpunkter då batteriet började laddas. Det antogs att personer som börjar ladda mellan 10 % och 75 % laddar till 80 %. Personer som börjar ladda sin bil mellan 75 % och 90 % antogs ladda upp till 100 %. Antal procentenheter av batteriet som användes mellan

två laddningstillfällen viktades därefter utifrån andelarna personer med gemensamma laddningsvanor. Antalet laddstolpar som behövs i varje kommun summerades för varje kommungrupp och hur stor andel av den totala befolkningen som behöver ladda per dag presenterades.

Avslutningsvis beräknades påverkan på elnätet inom tätorter utifrån behovet av laddplatser från det tredje fallet. Det gjordes genom att betrakta område 1 från Tabell 2.1, inom området uppskattades det finnas 1 000 hyresrätter med 1,84 boende i snitt per hyresrätt [32]. Den totala förbrukade effekten av laddstationen inom detta område beräknades således med totala behovet av laddplatser multiplicerat med upptagna effekten av laddarna. Effekten hos varje laddstolpe antogs vara 11 kW och antalet laddare räknades fram utifrån modellen ovan med hänsyn till antalet personer per hyresrätt.

# 4

## Resultat

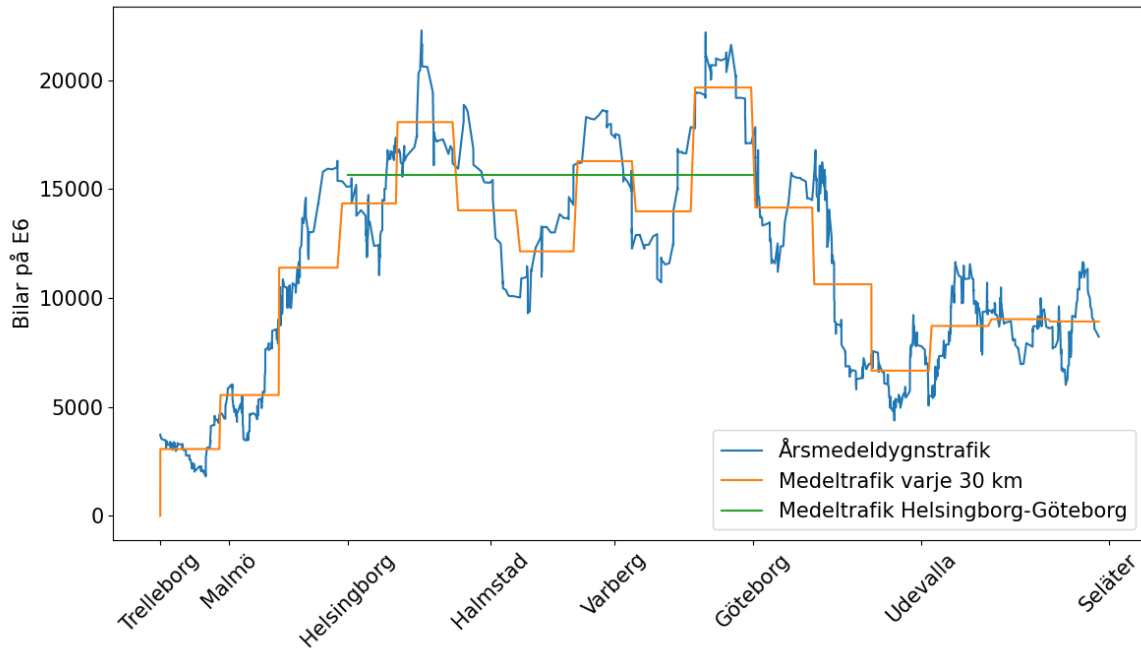
I följande kapitel presenteras resultat som framtagits med modellerna som skapats enligt kapitel 3 för att besvara om dagens elnät kan försörja en elektrifierad fordonsflotta. Kapitlet är uppdelat i två större delar, den ena presenterar hur laddstationer ska utformas längs E6 med DC-laddare och batterilagring för att möta behovet av laddning under längre färd. Den andra delen redovisar behovet av laddning i vardagligt bruk med AC-laddare bland Sveriges kommuner. Laddningsbehovet jämförs med kapaciteten av det befintliga elnätet för att avgöra försörjningsmöjligheter.

### 4.1 Utformning av laddstationer och dess energiförsörjning

Resultatet för laddning under resa kan delas in i två olika delar, var laddstationer bör placeras samt hur en laddstation kan utformas. Hur de ska vara utformade kan delas in i hur många laddare de behöver för att hantera en viss mängd bilar och hur effekten till och från en laddstation kan hanteras. Vidare så presenteras detta i en total modell som sammanställer resultatet.

#### 4.1.1 Placering av laddstationer

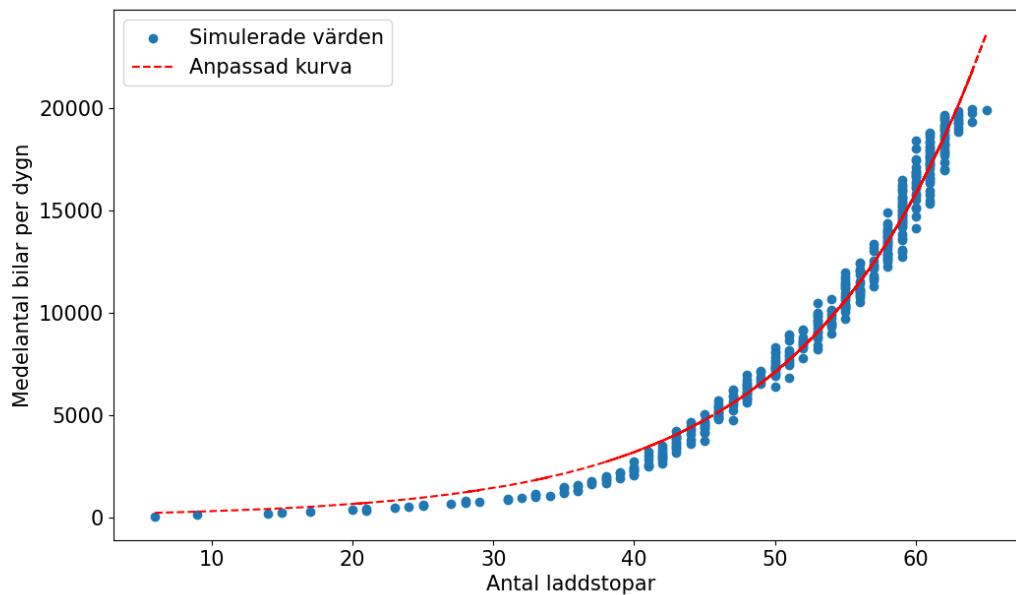
Då avståndet mellan två laddstationer är inom ett intervall om 50 km med 95% konfidensintervall fås en standardavvikelse på 1,96. Det leder till att det genomsnittliga avståndet mellan två laddstationer blir cirka 30 km. Då detta används för att dela in E6 kommer 16 laddstationer behövas. I Figur 4.1 visas den genomsnittliga årsmedeldygnstrafiken som passerar varje laddstation inom intervallen. Även ett medelvärde på trafiken mellan Helsingborg och Göteborg finns då det är en populär ressträcka.



**Figur 4.1:** Medeldygnstrafiken längs E6, medelvärde för varje 30 kilometer och ett medelvärde för antalet bilar mellan Helsingborg och Göteborg.

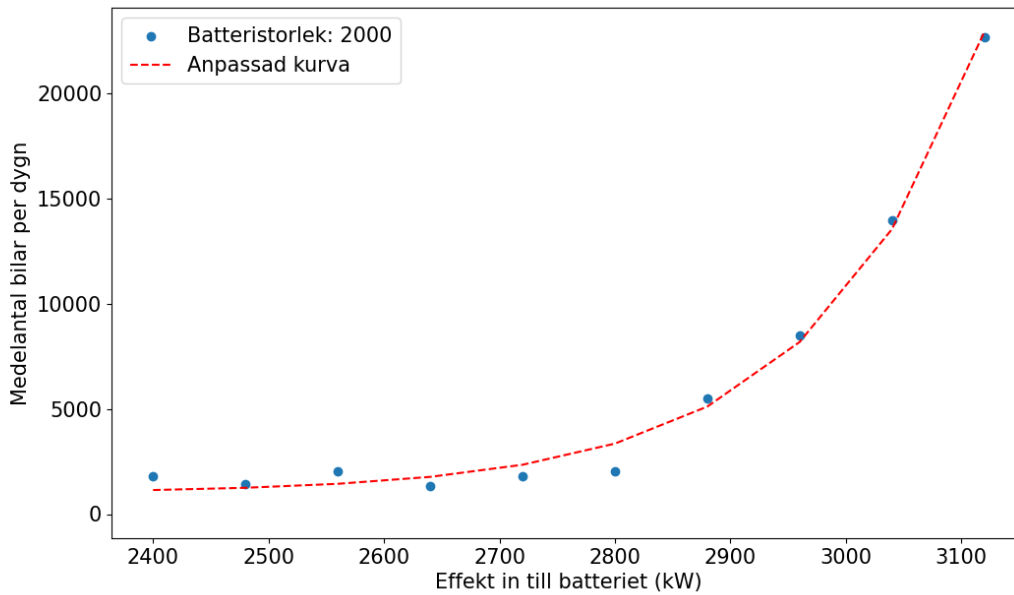
### 4.1.2 Utformning av laddstationer

I Figur 4.2 visas antalet laddstolpar som behövs på en laddstation för att hantera ett medelantal bilar per dygn, utan att de ska behöva vänta. Flera simuleringar har gjorts och på grund av osäkerheter baserat på poissonfördelning förekommer små variationer för de simulerade värdena. Det är tydligt att fler laddstolpar leder till att fler bilar kan hanteras, en exponentiell kurva är även anpassad till de simulerade värdena.



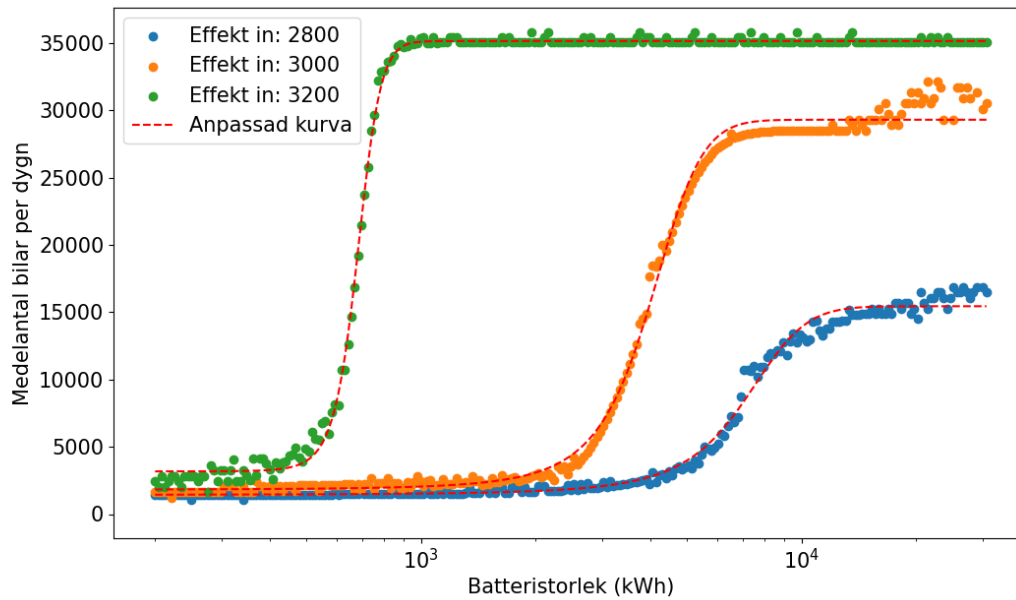
**Figur 4.2:** Medelantal bilar per dygn under en vecka i förhållande till antalet laddare med en exponentiell kurva anpassad till den simulerade datan.

Vidare visar Figur 4.3 hur effekten in till en laddstation påverkar antalet bilar som kan hanteras per dygn. Även här ökar antalet bilar som kan hanteras exponentiellt med effekten. I detta fall är antalet laddstolpar tillräckligt många, 200 st, för att hantera antalet bilar ifall tillräcklig effekt skulle finnas. Då bilarna inte får önskad effekt kommer de laddas upp långsammare, stå kvar längre och därmed kommer kö bildas. Fallen då kö precis bildats visas, storleken på batteriet var 2 000 kWh.



**Figur 4.3:** Beskriver sambandet på antalet bilar en laddstation kan hantera beroende på den effekt stationen har då ett 2 000 kWh batteri används.

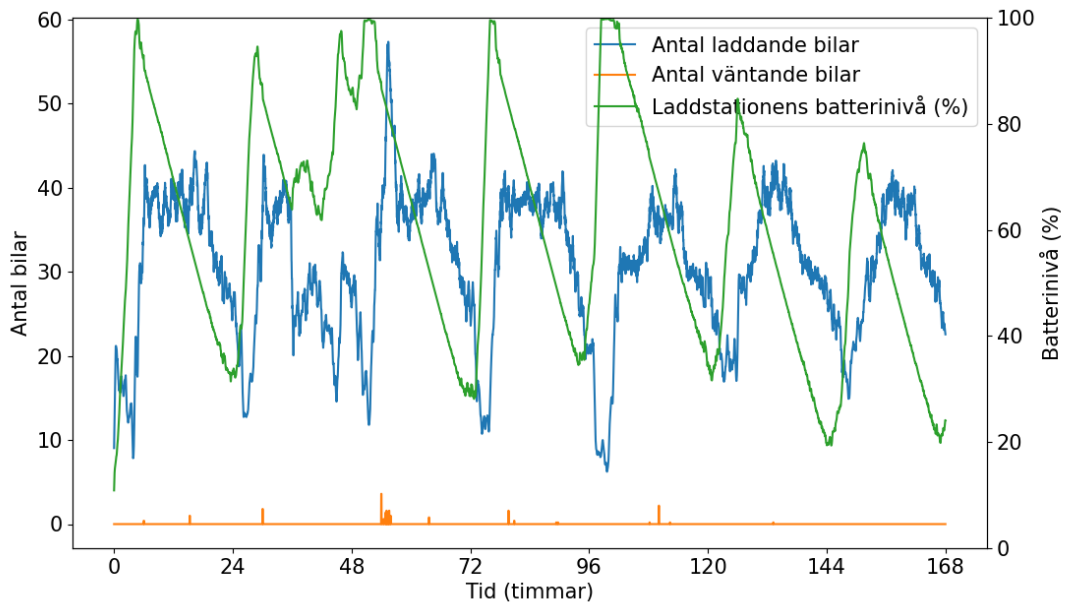
Det går även att se hur ett batteri kopplat till en laddstation påverkar antalet bilar som laddstationen kan hantera utan att bilister ska behöva vänta på att få börja ladda i Figur 4.4. Detta är gjort för tre olika effekter in och det är tydligt att batterier över en viss nivå gör att markant fler bilar kan hanteras. För större effekt in behövs en mindre batteristorlek för denna ökning. En sigmoid funktion är anpassad till de olika kurvorna och antalet bilar som de olika effekterna kan hantera stagnerar och bli konstant vid ett värde trots större batteri. När denna punkten är nådd behövs mer effekt för att kunna hantera fler bilar.



**Figur 4.4:** Beskriver sambandet på medelantalet bilar per dygn under en vecka som kan ladda vid en laddstation med en viss storlek på batteri. Även en logistisk kurva är anpassad till de tre fallen.

### 4.1.3 Sammanställd modell för en laddstation

Figur 4.5 visar simuleringen för ett antalet bilar som laddar under en vecka och hur batterinivån i energilagret i anslutning till laddstationen laddas ur och laddas upp. Antalet bilar är antaget att alla bilar som passerar den maximala punkten i Figur 4.1 behöver ladda, dvs. 20 000 stycken, och följer timtrafiken i Figur 2.2. Då behöver antalet laddstolpar vara cirka 65 stycken för att kunna hantera det enligt Figur 4.2. Maximal effekt in antas vara 3 000 kW, och från Figur 4.4 antas en batterinivå på 6 000 kWh. I Figur 4.5 ser vi stora variationer i batterinivå på energilagret och att det följer antalet laddande bilar. Batterinivån laddas upp på natten och ur kraftigt under dagen när det är över 40 bilar.



**Figur 4.5:** Visar hur antalet bilar laddar och batterinivån förändras för en laddstation där 20 000 bilar i genomsnitt laddar på en dag under en vecka. Effekten in till laddstationen är 3 000 kW, batterinivån på batteriet är 6 000 kWh och det finns 65 stycken laddstolpar.

## 4.2 Elbilars behov av laddning under vardagligt bruk

I det här delkapitel redovisas hur många som är i behov av publik laddning i vardagliga förhållanden, samt hur många laddstolpar som behövs för att täcka behovet. Detta betraktas för Sverige som helhet, de olika kommungrupperna och för alla kommuner. Antalet laddstolpar som behövs varierar beroende på de antaganden som görs i de olika fallen beskrivna i avsnitt 3.2 och redovisas därför separat.

### 4.2.1 Antal personer i behov av publik laddning

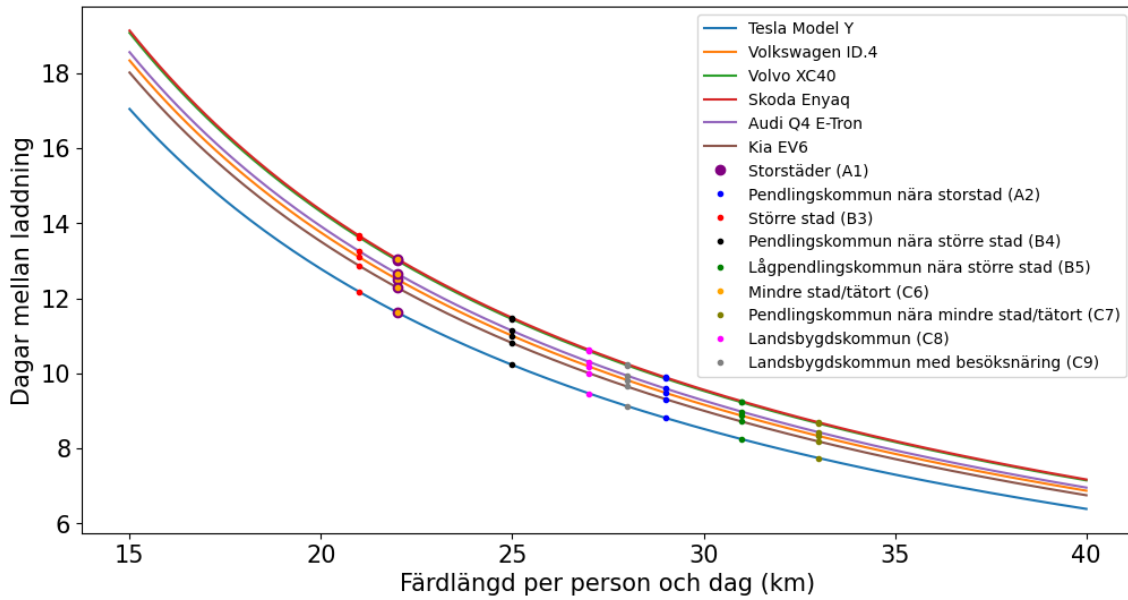
I Sverige uppskattas 1 216 826 personer vara i behov av publik laddning vilket motsvarar 12% av den totala befolkningmängden. I Tabell 4.1 ses de uppskattade andelarna personer av den totala befolkningmängden i respektive kommungrupp som är i behov av publik laddning, samt hur många personer det motsvarar. Observera att andelen personer i behov av publik laddning för varje huvudgrupp A, B och C är större i undergrupperna förknippade med en stad, det vill säga A1, B3 och C6, än i pendlings- och landsbygdskommunerna.

**Tabell 4.1:** Antalet personer i respektive kommungrupp som är i behov av publik laddning samt hur stor andel av den totala befolkningmängden i respektive grupp som det motsvarar.

Kommungrupp	Andel (%)	Antal personer
A1	13	257 847
A2	7,9	156 973
B3	14	376 320
B4	9,9	103 871
B5	12	61 324
C6	12	136 848
C7	9,6	54 039
C8	11	48 991
C9	9,1	20 613

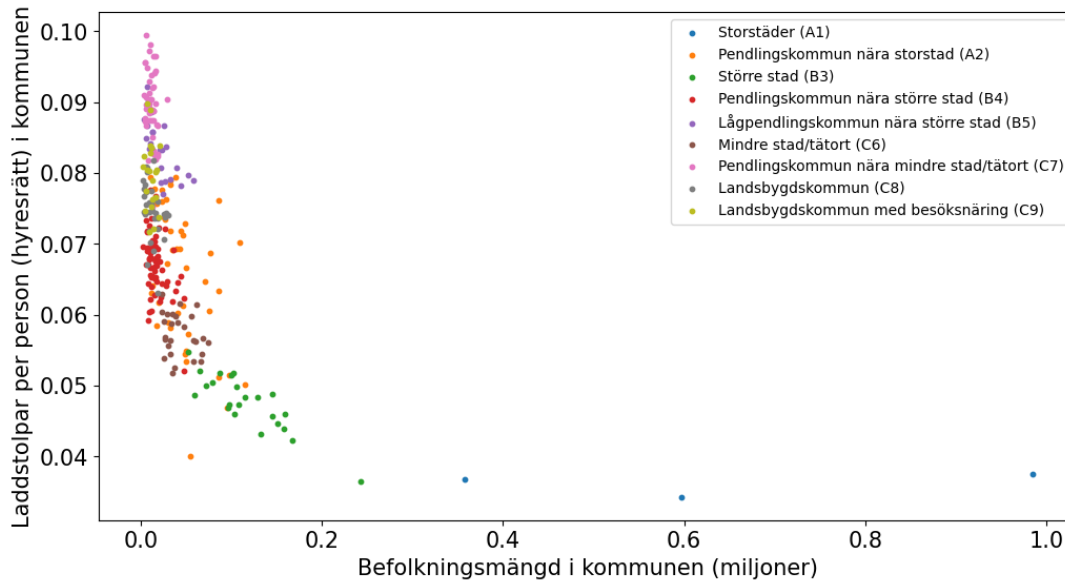
#### 4.2.2 Fall 1: Optimala laddningsvanor och maximal parkeringsbelastning

Med antagandet att personer följer en optimal laddcykel fås ett genomsnitt på antalet dagar mellan laddningar för respektive kommungrupp. Antalet dagar beror på den genomsnittliga sträckan som personer färdas per dag med bil relaterat till kommungruppen. Olika värden ges beroende på vilken bilmodell som körs vilket presenteras i Figur 4.6. Figuren visar bland annat att landsbyggskommuner har färre dagar mellan laddningar jämfört med storstadskommuner. Vidare går det att utläsa att det maximala antalet dagar mellan laddning är för Skoda Enyaq i kommungrupp B3 och minst antal dagar mellan laddning är Tesla Model Y i C9.



**Figur 4.6:** Antalet dagar mellan laddning av varje elbilmodell som funktion av färdlängd per person per dag. Genomsnittet av dagar mellan laddning för alla kommungrupper är markerade.

Med givet antal dagar mellan laddning, viktning av bilmodellerna och antal personer i behov av publik laddning fås antalet bilar i behov av publik laddning per dag, vilket är lika med antalet laddstolpar som behövs i fallet. För hela Sverige beräknades totalt 108 116 laddstolpar behövas. Figur 4.7 visar antalet laddstolpar som behövs för alla Sveriges kommuner per person bosatt i hyresrätt.



**Figur 4.7:** Antalet laddstolpar som behövs per person boende i hyresrätter för varje kommun.

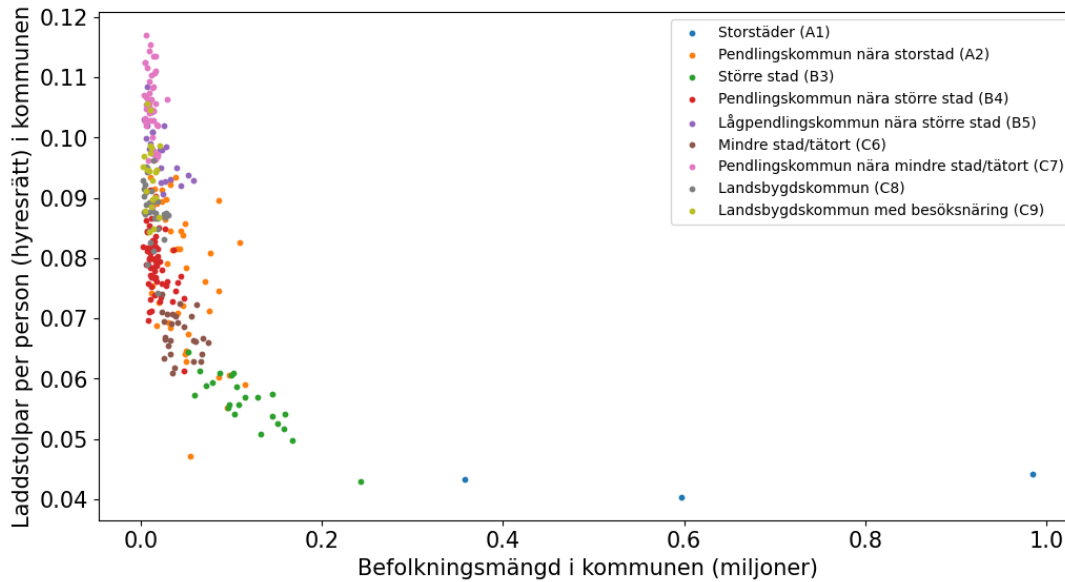
I Tabell 4.2 summeras antalet laddstolpar som behövs för kommunerna med gemensam kommungrupp. Det redovisas även hur stor andel av den totala befolkningsmängden samt andelen bilägare i kommungruppen som behöver ladda per dag. Notera att andelen av befolkningen som behöver ladda per dag i huvudgrupperna A, B och C är större i stadskommunerna än i pendlings- och landsbygdskommunerna. Bland andelarna för antal bilägare per dag som behöver ladda är här istället stadskommunerna minst procentuella andelar i jämförelse bland grupperna i respektive huvudgrupp. Totala antalet laddstolpar som behövs är störst för kommungruppen B3.

**Tabell 4.2:** Andel av den totala befolkningen i kommungrupperna som är i behov av publik laddning per dag, andel av bilägare i kommunen som behöver ladda per dag samt hur många personer det motsvarar, vilket är lika med antalet laddstolpar som behövs.

Kommungrupp	Andel av befolkningen (%)	Andel av bilägarna (%)	Antal laddstolpar
A1	1,1	8,1	20 918
A2	0,84	11	16 787
B3	1,1	7,7	29 142
B4	0,92	9,2	9 576
B5	1,4	11	7 010
C6	0,97	8,1	11 102
C7	1,2	12	6 576
C8	1,1	10	4 877
C9	0,93	10	2 128

### 4.2.3 Fall 2: Optimala laddvanor och hänsyn till belastning på parkeringsplatser med laddstolpar

Då belastningen på totala antalet parkeringar med laddstolpar aldrig ska överstiga 85 % behövs 127 195 laddstolpar i Sverige. Antalet stolpar som behövs i kommungrupperna ses i Tabell 4.3 och antalet laddstolpar i varje kommun per person boende i hyresrätt ses i Figur 4.8. Observera att andelen av befolkningen och andelen av bilägare i kommungrupperna som behöver ladda per dag är samma i fall 2 som i fall 1.



**Figur 4.8:** Antalet laddstolpar som behövs per person boende i hyresrätter för varje kommun.

**Tabell 4.3:** Antalet laddstolpar som behövs i kommungrupperna då maximalt 85 % av parkeringsplatserna med stolpar upptas och optimala laddningsvanor antas hos befolkningen.

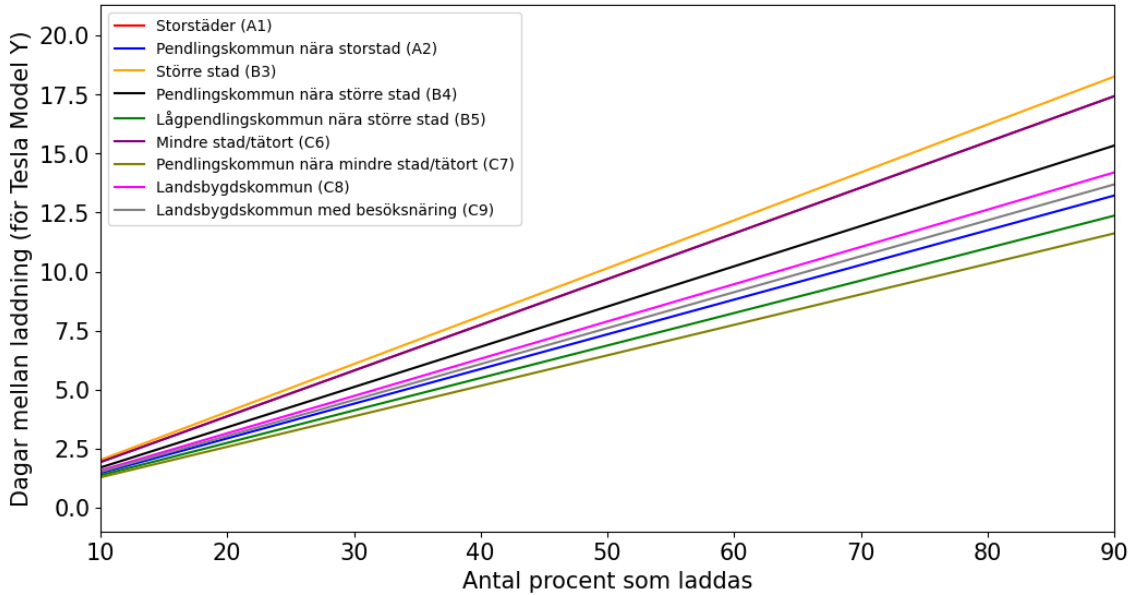
Kommungrupp	Antal laddstolpar
A1	24 610
A2	19 749
B3	34 284
B4	11 266
B5	8 247
C6	13 061
C7	7 736
C8	5 738
C9	2 503

#### 4.2.4 Fall 3: Realistiska laddningsvanor

I fall 3, där det ej antas att batteriet alltid laddas 60 procentenheter under ett laddningstillfälle, kommer antalet dagar mellan laddning variera linjärt med hur många procent som laddas. Antalet dagar mellan laddning för de olika kommungrupperna som

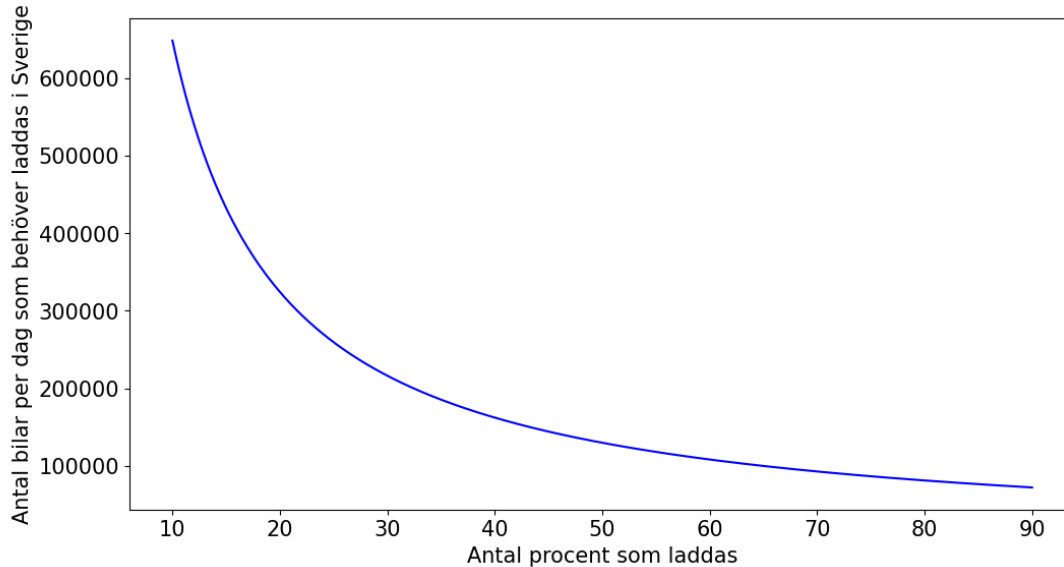
## 4. Resultat

funktion av antal procent som laddas redovisas i Figur 4.9. Observera att det är värden endast för bilmodellen Tesla Model Y som plottats. Övriga bilmodeller har samma linjära beroende men andra värden på dagar mellan laddning.



**Figur 4.9:** Antalet dagar mellan laddning beroende av hur många procentenheter som bilmodellen Tesla Model Y laddas för de olika kommungrupperna.

Med antalet personer i behov av publik laddning, andel av varje bilmodell och dagar mellan laddning som funktion av antal procent som laddas fås antalet bilar per dag som behöver laddas beroende av procentenheten som laddas. Beroendet för hela Sverige ses i Figur 4.10. Notera att kurvan avtar exponentiellt.



**Figur 4.10:** Antalet bilar som behöver ladda per dag i Sverige beroende på antalet procent som bilen laddas.

Med viktning av individers laddningsvanor fås det fram att 262 873 personer är i behov av laddning per dag i Sverige. Med hänsyn till att belastningen på parkeringarna ej ska överstiga 85 % behövs totalt 309 262 laddstolpar. Fördelningen av antal personer som behöver ladda per dag och antal laddstolpar som behövs för de olika kommungrupperna ses i Tabell 4.4 tillsammans med hur stor andel av kommungruppens befolkning som behöver ladda per dag.

**Tabell 4.4:** Andel av den totala befolkningens i respektive kommungrupp som behöver ladda per dag, antal personer som behöver ladda per dag och antal laddstolpar som behövs i de olika kommungrupperna.

Kommungrupp	Andel av befolkningen (%)	Antal personer	Antal laddstolpar
A1	2,6	50 860	59 836
A2	2,0	40 815	48 017
B3	2,7	70 855	83 359
B4	2,2	23 282	27 391
B5	3,4	17 045	20 052
C6	2,4	26 993	31 757
C7	2,9	15 989	18 810
C8	2,7	11 860	13 953
C9	2,3	5 175	6 088

### 4.2.5 Laddning i de olika kommungrupperna

Effektbehovet av laddning inom valda kommungrupperna presenteras i Tabell 4.5. Beräkningarna utfördes utifrån behovet av laddare i Tabell 4.4 och uppskattningen av antal personer inom området från avsnitt 3.2. Jämfört med Tabell B.1 så ser vi att den kvarvarande effekten i område 1 kommer att vara tillräcklig.

**Tabell 4.5:** Förbrukad effekt inom elområde 1 anpassat till de olika laddningsbehoven per kommuntyp i fall 3.

Kommuntyp	Förbrukad effekt fall 3
A1	528 kW
A2	407 kW
C8	550 kW

# 5

## Diskussion

I diskussionen kommer först varje modell förklaras var för sig, för att sedan analysera förändringar som skulle kunnat göras och hur de skulle påverka resultatet. Där likheter mellan olika modeller finns kopplingar göras och presenteras, där ibland utmaningar i utbyggnad och hur antaganden kan förändras i framtiden.

### 5.1 Utvärderingen av laddstationsmodellen för elbilar under längre resor

I följande avsnitt analyseras graferna som presenterats i resultatet. Det ses även över hur modellen kan förbättras.

#### 5.1.1 Analys av graferna

I Figur 4.1 ses medelvärdet för varje 30 km av E6 genom Sverige. Medelvärdet är väsentligt för att uppskatta hur många som kommer vilja ladda på varje enskilt intervall i förhållande till resterande intervall. Resultatet i avsnitt 4.1 beräknades med det värsta scenario då alla inom området stannar och laddar. Det är dock svårt att dra några slutsatser om ett realistiskt antal bilar som är i behov av laddning då personbilarnas laddbehov inte är kända inom dessa områden. Ett alternativt beräkningssätt skulle vara att antalet bilar behöver ladda ett antal gånger på ett större intervall. Exempelvis kan sträckan mellan Helsingborg och Göteborg, som ses i Figur 4.1, användas med antagandet att man behöver ladda en gång under sträckan. Ifall alla bilar skulle vara jämt utspridda under sträckan med sju stycken laddstationer 30 km ifrån varandra skulle varje laddstation endast behöva hantera cirka 2 300 bilar i snitt under ett dygn, vilket kan jämföras med det värsta fallet i Göteborgsområdet som är cirka 20 000 bilar under ett dygn.

När Figur 4.2 och 4.3 analyseras ser de ut att vara exponentiella. En utbyggnad av ett fåtal laddstolpar skulle därmed leda till en klart större möjlighet att hantera fler for-

don, och samma gäller för ökad effekt in till laddstationen. Figur 4.4 visar däremot att storleken på batterilagret inte skalar exponentiellt med antalet bilar som kan hanteras, utan snarare liknar en sigmoid funktion. Det innebär att en batteristorlek över en viss nivå leder till en stor skillnad i antalet bilar som kan hanteras utan någon väntetid. När grafen stagnerar och blir konstant innebär det att om fler bilar behöver hanteras så kommer elnätet behöva byggas ut till platsen. Funktionen ser ut att komma skarpare och tidigare vid högre effekter, och därmed kompenseras effekten kraftigt då. Grafen ser också ut att gå upp i slutet för 2800 kW och 3000 kW, vilket beror på att batterinivån hos laddstationen antogs vara 50 % i början av veckan, men avslutades mer urladdat.

Det är också möjligt att se hur antalet laddstolpar samt storleken på både kabeln och batteriet påverkar förändring i batterinivå och antalet personer som förväntas ladda på ett ställe under en vecka i Figur 4.5. Den visar att ett korrekt dimensionerat batteri oftast under upp- eller urladdning och sällan är fyllt. Batteriet laddas inte upp helt under alla dagar, men över en hela vecka laddas batteriet upp mer än vad det laddas ur. Vissa dagar ser det även ut att vara större belastning på laddstationen och det lär vara dessa fall som har begränsat antalet bilar som kan hanteras.

I dessa analyser har det antagits att det är en genomsnittlig vecka, vilket inte alltid stämmer utmed E6. Det finns till exempel mer trafikerade helger då belastningen på vägar och därmed laddstationerna är större [33]. Ifall det då finns för få laddstolpar kommer folk behöva vänta längre tid för att få ladda, och om det finns för lite effekt kommer laddningen ta längre tid. För att förhindra detta bör antalet laddstolpar och storleken på batteri överdimensioneras. Överdimensionering av batteriet skulle inte bara vara bra för att kunna täcka behov då fler behöver ladda, utan också förbättra batterihälsan då det skulle vara möjligt att hålla batteriet mellan 20 % och 80 % då vägen är lågt belastad. Under lågtrafikerade dagar skulle det också vara möjligt att balansera elnätet genom att återföra energi tillbaka. Det är dock svårt att bestämma storleken på marginalerna som behövs, och vidare analys om detta är möjligt att göra.

### 5.1.2 Förbättringar av modellen

Modellen som har använts skulle kunna förbättras på många olika sätt. Till att börja med är placering av laddstolpar baserad på data för alla bilar på vägen. Det är en approximation eftersom det finns bilar på vägarna som reser kortare än vad deras totala räckvidd räcker till och därmed inte behöver snabbadda. För att förbättra modellen behövs till exempel information om hur långt folk reser eller hur stor andel av alla elbilar som passerar en laddstation och väljer att ladda. I rapporten har uppskattningar gjorts med värsta fall i åtanke, vilket gör att systemet av laddstationer blir överdimensionerat och är fördelaktigt enligt 5.1.1.

En annan förbättringsmöjlighet skulle vara att ta hänsyn till beteende vid laddstolpar

idag. I modellen antas det att en person avslutar sin laddning när 80 % av batteriet är laddat, men det är möjligt att en person kan vilja ladda sin bil till 100 % istället för 80 %. De sista 20 procentenheterna skulle ta relativt lång tid att ladda jämfört med hastigheten innan [34]. Det skulle innebära ett större behov av laddstolpar eftersom de befintliga skulle vara under användning en längre tid än tidigare. Data på beteendevanor vid snabbbladdning skulle kunna göra modellen bättre. Det är också antaget att bilarna alltid får den effekt de efterfrågar, men under uppladdning varierar den efterfrågade effekten kraftigt [34]. Detta ställer krav på laddstationen, som till exempel måste ha effektiv effektfördelning mellan laddstolpar, för att det ska vara möjligt.

Ifall ett system lik denna metod skulle implementeras skulle effektbegränsning i batteriet kunna vara ett problem, och det är möjligt att uppladdningen inte kan ske med den effekt kabeln har tillgänglig, eller att den inte har en uteffekt som bilarna efterfrågar. En lösning på problemet skulle till exempel kunna vara att batteriet laddas upp långsammare under natten, och under urladdningen kan effekt från elnätet vara kopplad förbi batteriet och istället gå direkt till laddstationen. Även kondensatorer skulle kunna användas i vissa fall då in- och uteffekterna är mycket stora och lagringen sker under kort tid.

För att hantera effekten som bilar behöver finns det i stort sett två olika alternativ, antingen att bygga ut effekten till laddstationen, eller att bygga ett batteri i anslutning till laddstationen. Det är troligen kostnaderna som avgör. Ifall ett väldigt stort batteri skulle behövas för att kompensera för lite effekt vid en laddstation kan det vara värt att bygga ut elnätet i stället, men då måste också beräkningar på ifall det är lönsamt att köpa och sälja el med hjälp av batteriet också göras.

## 5.2 Utvärdering av laddningsbehov under vardagligt bruk

I följande avsnitt som rör modellen för vardagligt bruk, analyseras och diskuteras olika aspekter av elbilars laddningsbehov. Resultaten visar på ett varierande behov av laddstolpar, beroende på befolkningstäthet och bostadsbestånd i olika kommungrupper. Det framgår tydligt att bilbeståndet samt faktorer som bilarnas dagliga färdlängd spelar stor roll för hur laddinfrastrukturen behöver dimensioneras. Vidare diskuteras de tre olika scenarier som representerar olika nivåer av belastning på laddinfrastrukturen.

### 5.2.1 Analys av elbilars laddningsbehov under vardagligt bruk

Tabell 4.1 visar att andelen personer i behov av publik laddning följer ett gemensamt mönster för huvudgrupperna A, B och C. Andelarna i varje huvudgrupp är störst för kommunerna vars undergrupper är associerade med en stad, det vill säga A1, B3 och

C6. Detta kna jämförelse med Tabell 2.5 där andelen personer bosatta i hyresrätter följer samma storleksordning som andelen personer i behov av publik laddning för samtliga kommungrupper. Detta är ett rimligt resultat eftersom antalet personer i behov av publik laddning har antagits vara bilägare bosatta i hyresrätter. Andelen som bor i hyresrätter väger tyngre än andelen bilägare då bilägare beror på antal som bor i hyresrätter.

Tabell 4.2 redovisar hur stor del av bilägarna och den totala befolkningen som behöver ladda sin bil per dag i fall 1. Faktorer som avgör hur många som behöver ladda per dag är antalet personer bosatta i hyresrätter och antal registrerade bilar som i avgörandet av antalet personer i behov av publik laddning men nu även ett beroende av färdlängden en person tar sig med bil per dag, vilket skiljer sig för de olika kommungrupperna. Detta gör att storlekarnas ordning på andelarna förändras. Exempelvis får C7 och B5 de högsta andelarna bland alla undergrupper vilket beror på att de kommungrupperna färdas längst sträcka per dag enligt Tabell 2.6. Fall 2 följer samma fördelning då det bara är antalet laddstolpar som ändras på grund av minskad parkeringsbelastning. I fall 3 hålls samma fördelning mellan de olika kommungrupperna, men andelen av den totala befolkningens mängden skiljer sig då fler personer behöver ladda per dag.

De tre fallen kan tolkas som tre olika nivåer av belastning på elnätet, där fall 1 utgör lägst belastning och fall 3 utgör störst belastning. Det första fallet som bygger på att människor enbart laddar vid behov och att alla laddstolpar upptas har inte tagit hänsyn till variationer i beteendemönster bland invånarna. Exempel på variationer kan vara att personer av olika anledningar kör mer eller mindre bil vissa dagar, möjligen på grund av semester, sjukdom, helgdagar eller varierande arbetstider. Fall 1 ses därför som svår att tillämpa i praktiken, men kan tolkas som ett minimum av antal laddstolpar som behövs. Färre laddstolpar än vad som presenteras i Tabell 4.2 kommer alltså inte vara tillräckligt om alla bilar ska ha möjlighet att ladda.

Fall 2 konstruerades med syftet att hjälpa systemet att bättre hantera händelser som är svåra att ta med i beräkningar samt minska söktrafik och trängsel eftersom efterfrågan på parkeringsplatser antagligen varierar under olika tider på dygnet. Liksom i föregående fall antas fortfarande att människor inte laddar sin bil med optimal laddningscykel. Den 85 % belastningsgrad av laddstolparna antog däremot att detta var den maximala belastningen då alla står och laddar samtidigt. Detta är en uppskattning som grundats i att de flesta laddar nära hemmet och att majoriteten av befolkningen jobbar under samma tider enligt avsnitt 2.2.2, vilket gör att de flesta laddar under natten. En förbättring hade varit att ta hänsyn till parkeringsbelastning under dygnets timmar under en vecka då det personer som arbetar natt och få som arbetar helg.

Fall 3 konstruerades för att tillåta människor ladda när de vill. Jämförs antalet laddstolpar i Tabell 4.3 och Tabell 4.4 med varandra är skillnaden stor, behovet av laddstolpar i fall 3 är mer än dubbelt så stort som i fall 2. Anledningen till det är att antalet

laddstolpar som behövs ökar exponentiellt när antalet procentenheter som används mellan laddningar minskar vilket gör att antalet laddstolpar som behövs påverkas mycket av laddningsvanor.

### 5.2.2 Diskussion av modellen och praktiska genomförbarhet för elbilars laddningsbehov i daglig användning

Det är möjligt att behovet av laddstolpar kan täckas med ett mindre antal än vad som anges i Tabell 4.4. En anledning är att andelen personer som äger bil i Sverige har antagits vara samma för samtliga boendeformer. Det stämmer troligtvis inte då stora städer har mer tillgång till kollektivtrafik och sämre tillgång parkeringar, det minskar incitamenten för människor bosatta i sådana områden att äga bil och därmed finns det också troligen färre bilar.

Modellen har inte heller tagit hänsyn till att personer inte behöver tillgång till laddstolpar under laddningsdagen. Vissa personer kommer antagligen kunna dela laddstolpe på grund av varierande arbetstider där enbart är 71 % jobbar dagtid enligt avsnitt 2.2.2. Exempelvis skulle en person som använder laddstolpen på natten kunna nyttjas av någon annan under dagen. Detta är alltså ytterligare en parameter som minskar behovet av antal laddstolpar som behövs men är svårt att förutspå då detta skulle innebära kartläggning på individnivå på specifika platser för att se vilka personer som kan dela laddstolpe. Å andra sidan har modellen utgått från bildata som är framtagen under gynnsamma förhållanden. En person som ofta kör på motorvägar och ligger över hastighetsbegränsningen kommer att ta slut på sitt batteri snabbare än vad modellen tar i beaktning. Modellen har inte heller tagit i tagit hänsyn till kallare temperatur som också resulterar i minskad räckvidd jämfört med gynnsamma förhållanden.

Vidare kommer fler människor än de som är bosatta i hyresrätter behöva nyttja publika laddare. Så är särskilt fallet för kommungrupp C9, som präglas av mycket turism och har därmed ett större behov av laddstolpar under särskilda perioder av året. Andra kommungrupper, exempelvis A1 kan tvärtom ha ett lägre behov av AC-laddning än vad modellen antyder. Anledningen till detta är att det kan finnas fler snabbaddare i dessa kommuner, enligt avsnitt 4.1.1, som kan användas som komplement.

Ytterligare ett problem med modellen kan komma ifrån studien i avsnitt 2.2.2. I rapporten antogs det att alla har tillgång till privata laddstolpar, vilket skiljer sig från vår modell. Det är möjligt att människor som inte har tillgång till en privat laddstolpe inte känner behovet av att ladda sin elbil om de har känslan av att finns laddstolpar att tillgå när det behövs och därmed kan behovet av publika laddstolpar minska.

### 5.3 Utmaningar och begränsningar i elnätet

Arbetet har utgått från det lokala nätet och de beräknande effekterna i 10 kV nätet utan beaktning kring hur det kommer påverka regions- och transmissionsnätet. Även om det lokala nätet, med i vissa fall energilagring som komplement, klarar av den extra belastningen från en laddstation så kan den summerade effekten av flera laddstationer komma att överbelasta regions- eller transmissionsnätets kapacitet. Exempelvis kan det skapas problem kring laddstationer på landsbyggen där två stationer kan vara kopplade till samma ledning.

Vidare så är rapporten baserad på tre olika ledningar inom det lokala elnätet. Dessa ledningar har applicerats på flera olika fall för att utföra beräkningar på elnätet. På grund av detta är arbetet inte anpassat för några specifika platser utan istället de generaliserade områdestyperna från avsnitt 2.1.1. För att öka säkerheten i resultatet skulle det behöva räknas på ledningarna i direkt anslutning till laddstationerna.

Den kvarvarande effekten kommer från en borträknad 10 % marginal på ledningarna i det lokala nätet. Denna marginalen kan anses som låg då en kontinuerlig belastning nära max på ledningen kan leda till problem. Belastning på ledningen kommer variera över dagen, beroende på plats och närliggande bebyggelse. För att göra en mer korrekt uppskattning av den kvarvarande effekten hade en modell för elförbrukningen inom ett område kunnat göras. Ett sätt att förbättra modellen skulle vara att ta hänsyn till hur elanvändningen varierar under ett dygn och därmed anta att det finns mer ledig kapacitet i ledningen under vissa timmar. Detta skulle vara fördelaktigt då den normala belastningen på ledningarna är betydligt mycket lägre enligt avsnitt 2.1.1.

Årsförbrukningen av elförbrukningen i hushåll har inte förändrats nämnvärt men har dock varierat med 3TWh i hela Sverige i enlighet med avsnitt 2.1.1. Om det antas att maxvärdet var under ett extra kallt år då uppvärmningen av hushållen bidrar till en ökad elförbrukning kan det komma att påverka belastningen i nätet ännu mer. Även elbilars förbrukning ökar med en sjunkande temperatur enligt avsnitt 2.2.1. Med en stigande förbrukning kommer laddningsfrekvensen hos elbilar bli tätare och som följd kommer elförbrukningen associerat med elbilar att öka. Som helhet kan detta bidra till en stigande elförbrukning i Sverige.

### 5.4 Verklighetsutvärdering: En översikt av modellerna

Arbetets två delmoment nyttjar två olika tekniker för laddning. DC-laddning används för laddning under längre resor och AC-laddning används när bilen brukas vardagligt. Ingen av modellerna föreslår en exakt placering för laddstolpar, utan anger bara hur många laddstolpar som behövs inom olika områden. Dock överlappar de två modellernas

områden varandra, vilket innebär behovet av AC-laddare, framförallt i storstäder med många passerande vägar, kan krympa då tillgång till DC-laddare med snabbare laddning kan anses mer attraktivt på grund av den kortare laddningsperioden.

Vidare så är modellerna baserade på dagens teknik och nutida parametrar vilket gör att de kan påverkas när utvecklingen fortgår. I dagsläget står elbilar för under 10 % av fordonsflottan och det dröjer antagligen en tid innan alla bilar är helt elektriska. Under tiden elektrifieringen fortgår kommer troligtvis mycket utveckling ske som rör elbilar och elnätet. Däribland lär bilarnas batteristorlekar växa, laddningshastigheterna kommer antagligen att öka och elnätet kommer byggas ut. Dessa förändringar skulle kunna leda till att stationerna kan placeras längre ifrån varandra och att antalet laddningar under en resa blir färre. Det skulle dock också kunna leda till att effekttopparna vid laddstationer ökar, vilket skulle kunna leda till större belastning på elnätet. I vardagliga miljöer kan utvecklingen av elbilar göra så att bilarna inte behöver ladda lika ofta vilket kan minska behovet av laddstationer då bilarna kan gå flera dagar utan att laddas.

Modellerna är däremot enkla att anpassa för framtidens behov i olika områden. För längre resa så behövs endast antalet bilar som förväntas ladda vid en laddstation och ledningen till den beräkna huruvida laddstationen kommer att bli försörjd med tillräcklig effekt. Vidare kan ett lokalt energilagring anpassas till laddstationen ifall effekten in via ledningen inte är tillräcklig. För det vardagliga bruket i en tätort krävs befolkningens mängden och antalet registrerade bilar för att få fram behovet av antalet laddningspunkter för den specifika tätorten. Ingen av modellerna använder perfekta körcykler och bristande information om elnätet leder till att vidare arbete kan bli utmanade. Med mer information om både elnätet och bilanvändandet i Sverige hade båda modellerna kunnat utvecklats för att bli mer precisa.

Omställningen till en elektrifierad fordonsflotta kommer sannolikt att vara kostsamt. Kostnaden kommer troligen hamna hos privatpersoner, företag och staten. För privatpersoner kommer inköp av elbilar och installationer av laddstolpar vid villor vara kostsamt och för staten samt företag kommer kostnaden bero på utbyggnad av laddningsinfrastrukturen och tillhörande energiförsörjning. Beräkningar har gjorts på de mest köpta elbilarna i Sverige. Dessa bilar är väldigt dyra i inköp för många svenska invånare, men ägandekostnaden för elbilar är lägre jämfört fossilbilar [35]. Billigare elbilar har generellt mindre batterikapacitet och är mindre till storleken vilket inte är praktiskt för barnfamiljer. Det finns olika sätt att underlätta övergången till elbilar, till exempel genom skattereduktion och bidrag vid köp av elbilar. Skattereduktion på elbilar gynnar större och dyrare fordon medan ett bidrag vid inköp gynnar generellt mindre elbilar [35]. Avslutningsvis kommer det troligen krävas politiskt och ekonomiskt stöd för att främja adaptationen av elbilar samt en satsning på utveckling av nödvändig infrastruktur. Detta är avgörande för att möta framtida energibehov och miljömål.

# 6

## Slutsats

Rapporten har undersökt de utmaningar och möjligheter som är förknippade med att övergå till en helt elektrifierad fordonsflotta i Sverige. Resultaten antyder att det lokala elnätet har tillräcklig kapacitet för att hantera en initial ökning av antalet elbilar genom användning av batterienergilagringssystem för effektkompensering. För långa bilresor har en modell utvecklats för att anpassa laddstolpar efter specifika vägar och bedöma behovet av kompletterande lokala batterilager för att hantera eventuella effekttoppbelastningar. Till exempel krävs det 65 laddare inom ett 30 km intervall för en ÅDT på 20 000 bilar. För att hantera effekten till laddstationen på 3,000 kW krävs ett batterilager med en kapacitet på 6,000 kWh. Inom tätorter beräknades behovet av totalt 309,262 laddstolpar för att möta det dagliga behovet. Det lokala elnätet har tillräcklig kapacitet för att hantera det dagliga bruket utan användning av batterienergilagringssystem.

Elektrifieringen av fordonsflottan är fortfarande i ett tidigt skede och mycket arbete behöver fortfarande göras. För att lyckas krävs en noggrant planerad utbyggnad av laddstationer samt integrering av batterilagring för att hantera toppbelastningar i elnätet. Åtgärderna är avgörande för att möta framtida energibehov, miljömål och för att Sverige ska kunna uppnå en hållbar fordonsflotta.

# Litteratur

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change, "SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT", tekn. rapport, 2023.
- [2] Stockholms Universitet. "Svante Arrhenius – Sveriges första Nobelpristagare". [Online]. (2021), Tillgänglig: <https://www.su.se/2.1273/fakta/historiska-personer/svante-arrhenius-sveriges-f%C3%B6rsta-nobelpristagare-1.514595/svante-arrhenius-sveriges-f%C3%B6rsta-nobelpristagare-1.519635>, Hämtad: 2024-03-15.
- [3] H. Ritchie och M. Roser. "CO<sub>2</sub> emissions". <https://ourworldindata.org/co2-emissions>. (2020).
- [4] International Energy Agency. "CO<sub>2</sub> Emissions in 2022". [Online]. (2023), Tillgänglig: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>, Hämtad: 2024-03-15.
- [5] Naturvårdsverket. "Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser". [Online]. (2023), Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/>, Hämtad: 2024-03-15.
- [6] Naturvårdsverket. "Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser". [Online]. (2023), Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/>, Hämtad: 2024-03-15.
- [7] Mobility Sweden. "Definitiva nyregistreringar under 2023". [Online]. (2024), Tillgänglig: [https://mobilitysweden.se/statistik/Nyregistreringar\\_per\\_manad\\_1/nyregistreringar-2023\\_3/definitiva-nyregistreringar-under-2023](https://mobilitysweden.se/statistik/Nyregistreringar_per_manad_1/nyregistreringar-2023_3/definitiva-nyregistreringar-under-2023), Hämtad: 2024-03-18.

- [8] Trafikverket. "Fordonsstatistik". [Online]. (2024), Tillgänglig: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/statistik/Fordonsstatistik/>, Hämtad: 2024-03-18.
- [9] Svenska kraftnät. "Sveriges elnät". [Online]. (2022), Tillgänglig: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/sveriges-elnat/>, Hämtad: 2024-02-12.
- [10] Statistikmyndigheten. "Tillförsel och användning av el 2001–2022 (GWh)". [Online]. (2023), Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arlig-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/pong/tabell-och-diagram/tillforsel-och-anvandning-av-el-20012022-gwh/>, Hämtad: 2024-04-07.
- [11] M. Hannan m. fl., "Battery energy-storage system: A review of technologies, optimization objectives, constraints, approaches, and outstanding issues", *Journal of Energy Storage*, årg. 42, s. 103–123, 2021, ISSN: 2352-152X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103023>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21007349>,
- [12] Y. Yang, S. Bremner, C. Menictas och M. Kay, "Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, årg. 91, s. 109–125, 2018, ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.047>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118301436>,
- [13] K. Divya och J. Østergaard, "Battery energy storage technology for power systems — An overview", *Electric Power Systems Research*, årg. 79, nr 4, s. 511–520, 2009, ISSN: 0378-7796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.09.017>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779608002642>,
- [14] M. T. Lawder m. fl., "Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications", *Proceedings of the IEEE*, årg. 102, nr 6, s. 1014–1030, 2014. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2317451.
- [15] Mobility Sweden. "Databas Nyregistreringar". [Online]. (2024), Tillgänglig: <https://mobilitysweden.se/statistik/databas-nyregistreringar>, Hämtad: 2024-04-17.
- [16] Y. Liu, R. Zhang, J. Wang och Y. Wang, "Current and future lithium-ion battery manufacturing", *IScience*, årg. 24, nr 4, 2021.
- [17] K. W. Beard, *Linden's Handbook of Batteries, 5th Edition*. McGraw-Hill, 2019, ISBN: 9781260115925.

- [18] S. Ma m. fl., "Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review", *Progress in Natural Science: Materials International*, årg. 28, nr 6, s. 653–666, 2018, ISSN: 1002-0071. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007118307536>,
- [19] E. D. Kostopoulos, G. C. Spyropoulos och J. K. Kaldellis, "Real-world study for the optimal charging of electric vehicles", *Energy Reports*, årg. 6, s. 418–426, 2020, ISSN: 2352-4847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.008>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719310911>,
- [20] *MODEL Y ÄGARHANDBOK, Programvaruversion: 2024.8 Europe*, Tesla Inc.
- [21] V. C. AB. "Information om laddning i centerdisplay". [Online]. (2023), Tillgänglig: <https://www.volvocars.com/se/support/car/xc40-recharge-pure-electric/23w46/article/012b4011f58c43b1c0a8015163b1bd39?search=gr%C3%A4ns%20laddning&page=0>, Hämtad: 2024-05-03.
- [22] Europaparlamentets och rådets förordning (eu) 2023/1804 av den 13 september 2023 om utbyggnad av infrastruktur för alternativa drivmedel och om upphävande av direktiv 2014/94/EU (Text av betydelse för EES), [Online], EUT L 234, 2023. Tillgänglig: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32016R0679%7D>, Hämtad: 2024-05-06.
- [23] "Analys och förslag för bättre tillgång till laddinfrastruktur för hemmaladdning oavsett boendeform", Statens energimyndighet, tekn. rapport, nov. 2021.
- [24] M. Larsson, "Arbetstider år 2023", Landsorganisationen i Sverige, tekn. rapport, 2023.
- [25] Y. Liao, Ç. Tozluoglu, F. Sprei m. fl., "Impacts of charging behavior on BEV charging infrastructure needs and energy use", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, årg. 116, 2023. DOI: 10.1016/j.trd.2023.103645. Tillgänglig: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2023.103645>,
- [26] T. Franke och J. F. Krems, "Understanding charging behaviour of electric vehicle users", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, årg. 21, s. 75–89, 2013, ISSN: 1369-8478. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.09.002>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847813000776>,
- [27] S. Hammarberg och I. Brändström, "Parkering för hållbara stadskärnor", Sveriges kommuner och regioner, tekn. rapport, 2021.
- [28] A. Jonsson och T. Tran, "Kommungruppsindelning", Sveriges kommuner och regioner, tekn. rapport, 2022.

- [29] Trafikanalys. "Resvanor". [Online]. (2023), Tillgänglig: <https://www.trafa.se/kommunikationsvanor/RVU-Sverige/>, Hämtad: 2024-04-17.
- [30] Statistikmyndigheten SCB. "Antal och andel personer efter region, boendeform, ålder och kön. År 2012 - 2023". [Online]. (2024), Tillgänglig: [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_\\_HE\\_\\_HE0111\\_\\_HE0111A/HushallT21B/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__HE__HE0111__HE0111A/HushallT21B/), Hämtad: 2024-04-09.
- [31] Statistikmyndigheten SCB. "Personbilar i trafik efter län och kommun samt ägande. År 2002 - 2023". [Online]. (2024), Tillgänglig: [https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START\\_\\_TK\\_\\_TK1001\\_\\_TK1001A/PersBilarA/](https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__TK__TK1001__TK1001A/PersBilarA/), Hämtad: 2024-04-09.
- [32] Statistikmyndigheten SCB. "Boende i Sverige". [Online]. (2024), Tillgänglig: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/boende-i-sverige/>, Hämtad: 2024-05-01.
- [33] Polisen. "Omkörningsförbud på E4 för en säkrare trafik". (mars 2024), Tillgänglig: <https://polisen.se/aktuellt/nyheter/mitt/2024/mars/omkorningsforbud-pa-e4-for-en-sakrare-trafik/>, Hämtad: 2024-05-04.
- [34] B. Nyland, *Laddningskurvor för elbilar*, Google Kalkylark, Innehåller data om snittladdhastighet och maxladdning. Senast hämtad 17 april 2024, 2024. Tillgänglig: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1hpXNhRxaIM060BIKM8R1r0vYX1HgrWNpjWmK6Ra1zZ8/edit#gid=1593904708>, Hämtad: 2024-04-17.
- [35] P. Z. Lévy, Y. Drossinos och C. Thiel, "The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership", *Energy Policy*, årg. 105, s. 524–533, 2017, ISSN: 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.054>. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517301404>,
- [36] Tesla. "Model Y". [Online]. (2024), Tillgänglig: [https://www.tesla.com/sv\\_se/modely](https://www.tesla.com/sv_se/modely), Hämtad: 2024-04-17.
- [37] Volkswagen Newsroom. "Technical data of the ID.4". [Online]. (2024), Tillgänglig: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/the-id4-from-volkswagen-15712/technical-data-of-the-id4-15724>, Hämtad: 2024-04-17.
- [38] Volvo Cars. "Specifikationer för EX40". [Online]. (2024), Tillgänglig: <https://www.volvocars.com/se/cars/ex40-electric/specifications/>, Hämtad: 2024-04-17.

- [39] ŠKODA AUTO. "ŠKODA ENYAQ Utrustningsnivå". (2024), Tillgänglig: <https://cc.skoda-auto.com/swe/sv-SE/trimline-scenic>, Hämtad: 2024-04-17.
- [40] Audi. "Tekniska data Q4 e-tron med 45 e-tron". (2024), Tillgänglig: <https://www.audi.se/se/web/sv/models/q4-e-tron/q4-e-tron.html>, Hämtad: 2024-04-17.
- [41] Kia. "The Kia EV6 Specifications". (2024), Tillgänglig: <https://digital-brochures.kia.com/story/the-kia-ev6-specifications/page/3/>, Hämtad: 2024-04-17.

# A

## Genomsnitt av populära elbilar

I Tabell A.1 visas data på de sex mest populära bilarna och beräknar snittet på batteristorleken, maximala laddhastigheten, räckvidden och förbrukningen. Snittet är även viktat mot antalet sålda bilar per biltyp som också visas i tabellen. Då det fanns mer än ett motoralternativ för en bilmodell beräknades snittet på dem innan de lades in i tabellen. För medelladdhastigheten har först ett medelvärde baserat på mängden energi i batteriet (procent) används och inte tid för varje bilmodell var för sig. Då motsvarande bilmodell inte fanns i datan användes data för en bilmodell byggd på samma bilplattform för att kunna använda ny data.

**Tabell A.1:** Beskriver data på de sex mest populära bilarna och beräknar snittet på dem

Modell	Batteri- storlek (kWh)	Maximal laddhastig- het (kW)	Räckvidd (km)	Förbrukning (kWh/100km)	Medel- laddhastighet	Antal
Tesla Model Y	72[36]	250[36]	525[36]	16,9[36]	115[34]	20044[15]
Volkswagen ID.4	77[37]	170[37]	522[37]	16,8[37]	112[34]	11813[15]
Volvo XC40	82[38]	150[38]	529[38]	17,2[38]	127[34]	10838[15]
Skoda Enyaq	77[39]	170[39]	532[39]	16,1[39]	112[34]	6851[15]
Audi Q4 e- tron	77[40]	170[40]	532[40]	16,6[40]	112[34]	5246[15]
Kia EV6	77[41]	220[41]	510[41]	17,1[41]	158[34]	4772[15]
Viktat genomsnitt	76,2	197	525	16,8	119,3	59564

# B

## Effekter inom exempelområden

Tabell B.1 Det olika områdena omräknat från A till MW utifrån 2.1.1. För att säkerställa att ledningen inte överbelastas och även behålla utrymme för vidare utveckling i området så har en 10% marginal räknats bort från max belastningen på kabeln för beräkningen av den kvarvarande effekten.

**Tabell B.1:** Effekter inom de olika elområdena

Område	Max belastning	Toppvärde i dagsläget	Kvarvarande kapacitet
Område 1	6,75 MW	2,82 MW	3,26 MW
Område 2	9,35 MW	4,04 MW	4,38 MW
Område 3	8,31 MW	4,71 MW	2,77 MW

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**