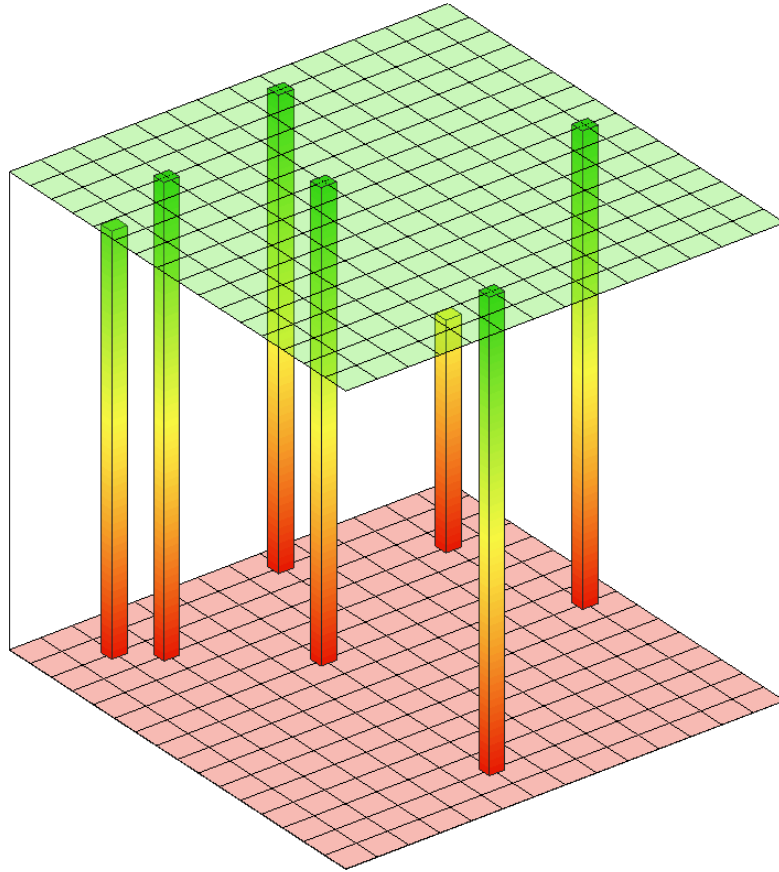




# CHALMERS

---



## **Storskalig projektering av laddstolpar**

Baserad på simulering av laddningsscenario

Examensarbete inom Högskoleingenjörsprogrammet Elektroingenjör

Daniel Svensson

Alfred Tullgren



EXAMENSARBETE INOM HÖGSKOLEINGENJÖRSPROGRAMMET  
ELEKTROINGENJÖR 2019:01

## Storskalig projektering av laddstolpar

Baserad på simulering av laddningsscenario

Daniel Svensson

Alfred Tullgren



**CHALMERS**

Institutionen för Elektroteknik  
*Avdelningen för Elkraftsteknik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2019

## **Storskalig projektering av laddstolpar**

Baserad på simulering av laddningsscenario

DANIEL SVENSSON

ALFRED TULLGREN

© DANIEL SVENSSON, ALFRED TULLGREN 2019.

Handledare: Gustav Eklund, WSP

Examinator: Thomas Hammarström, Elektroteknik

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroingenjör 2019:01

Institutionen för Elektroteknik

Avdelningen för Elkraftsteknik

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telephone +46 31 772 1000

Omslag: Resultat från en simulering av ett laddningsscenario

Typeset in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Chalmers Reproservice

Göteborg, Sverige 2019

# Förord

Denna rapport är en del av det examensarbete högskoleingenjörer inom elektroteknik genomför under sista halvåret av årskurs tre. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och genomförs på Chalmers tekniska högskola under institutionen för Elektroteknik. Arbetet skedde huvudsakligen på WSP:s kontor i Göteborg men även på Chalmers campus då tillgång till diverse programvara erfordrades. Vi vill tacka ett antal personer som varit en viktig del under arbetets gång.

*Thomas Hammarström*

Tack till Thomas Hammarström på avdelningen för elkraftsteknik på Chalmers som varit vår handledare och examinator under examensarbetet. Hans visdomsord har lett oss på rätt väg under arbetet och hjälpt oss att utforma denna tekniska rapport.

*Kristian Svensson*

Tack till Kristian Svensson på WSP som hjälpt oss med att få tillgång till mätdata från Göteborgs Energi.

*Gustav Eklund*

Ett särskilt tack till Gustav Eklund som varit vår handledare på WSP. Hans tankar och ideér samt enorma stöd har möjliggjort hela arbetet.

Daniel Svensson  
Alfred Tullgren  
Göteborg, 2019-06



# Sammanfattning

Bostadsrättsföreningen Masthugget i Göteborg vill undersöka huruvida deras olika garage har tillräckligt med effekt för att ladda elbilar med rimliga laddningstider. Om laddningstiderna är större än vad som är acceptabelt betyder det att effekten som transmitteras till fastigheten med garaget är för liten vilket innebär att inkommande servisleddningar behöver uppgraderas. Det är därför nödvändigt att kunna estimerade de förväntade laddningstiderna för att veta om uppgradering behövs eller ej.

I detta examensarbete utförs en projektering av laddstolpar i ett av Masthuggets garage. Projekteringen omfattas av en installationsskiss, dimensionering av kablar och säkringar samt beräkningar på spänningsfall och bryttider. För att veta vilken laddstolpe som är bäst lämpad för projekteringen genomförs en marknadsundersökning på laddstolpar från ledande tillverkare i Svergie. Projekteringen baseras på resultatet från ett program som utvecklas i Matlab.

Programmet simulerar ett scenario av elbilsladdning i ett garage vilket bygger på olika typer av data såsom tillgänglig effekt och bilflöde. Programmet avgör även om inkommande servisleddningar behöver uppgraderas eller ej genom att ta reda på om bilarna hinner bli fulladdade inom ett bestämt tidsintervall vilket anses acceptabelt.



## Abstract

The housing association Masthugget in Gothenburg wants to investigate whether their different garages have enough power to charge electric cars with reasonable charging times. If the charging times are greater than what is acceptable, the power transmitted to the property with the garage is too small, which means that incoming service lines need to be upgraded. It is therefore necessary to be able to estimate the expected charging times to know if upgrading is needed or not.

In this thesis work, a principle installation of charging posts is carried out in one of Masthugget's garages. The installation is covered by an installation sketch, dimensioning of cables and fuses as well as calculations on voltage drops and break times. In order to know which charging post is best suited for the installation, a market research is carried out on charging posts from leading manufacturers in Sweden. The installation is based on the results of a program developed in Matlab.

The program simulates a scenario of electric vehicles charging in a garage, which is based on various types of data such as available power and vehicle flow. The program also determines if the incoming service cables need to be upgraded or not by finding out whether the vehicles can be fully charged within a specified time interval which is considered acceptable.



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund . . . . .	1
1.2	Syfte . . . . .	2
1.3	Avgränsningar . . . . .	2
1.4	Precisering av frågeställningen . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Teoretisk bakgrund</b>	<b>5</b>
2.1	Formler . . . . .	5
2.2	Lastbalansering . . . . .	7
2.3	Masthugget . . . . .	8
2.4	Laddningsmoder och kontakttyper . . . . .	8
2.4.1	Kontaktidon Typ 2 och Combo 2 . . . . .	8
2.4.2	Mod 1 . . . . .	9
2.4.3	Mod 2 . . . . .	9
2.4.4	Mod 3 . . . . .	9
2.4.5	Mod 4 . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Marknadsundersökning</b>	<b>13</b>
4.1	Chargestorm . . . . .	13
4.2	CaCharge . . . . .	14
4.3	Eldon . . . . .	15
4.4	Sammanställning . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Databehandling</b>	<b>17</b>
5.1	Elbilens energibehov . . . . .	17
5.2	Tillgänglig effekt . . . . .	18
5.3	Bilflöde . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Matlab-program</b>	<b>23</b>
6.1	Definiera konstanter och variabler . . . . .	24
6.2	Importera Data . . . . .	24
6.3	Anpassa importerad data för simulering . . . . .	24
6.4	Simulera laddningsscenario . . . . .	25
6.5	Anpassa laddningsdata för att presenteras grafiskt . . . . .	26
6.6	Beräkna resultat . . . . .	27

6.7	Presentera resultat . . . . .	27
<b>7</b>	<b>Projektering</b>	<b>29</b>
7.1	Val av laddstolpe . . . . .	29
7.2	Resultat från programmet . . . . .	29
7.3	Installationsskiss . . . . .	33
7.4	Dimensionering av kablar och säkringar . . . . .	33
<b>8</b>	<b>Hållbar utveckling</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>41</b>
<b>10</b>	<b>Slutsats</b>	<b>43</b>
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>45</b>
<b>A</b>	<b>Bilagor</b>	<b>I</b>
A.1	Installationsskiss . . . . .	I
A.2	Matlab kod . . . . .	III

# 1

## Inledning

Rapporten handlar om laddstolpar för elbilar och den problematik som uppstår då dessa används i stor skala. En marknadsundersökning av laddstolpar från etablerade tillverkare i Sverige behandlas i rapporten. Detta för att ge kunskap om vilka laddstolpar som är mest lämpade för att tillämpas i storskaliga projekt. Ett program presenteras vars funktion är att simulera ett laddningsscenario. Detta för att avgöra om ett garage har tillräckligt med effekt för att ladda elfordon utifrån diverse förutsättningar. Resultatet från marknadsundersökningen och programmet kommer att ligga som grund för en projektering av laddstolpar i ett garage.

### 1.1 Bakgrund

Elbilar som laddats med förnybar energi gör det möjligt att minska vårt beroende av förorenande fossila bränslen inom transportsektorn. Sveriges regering har därför som mål att ha en fordonsflotta fri från fossila bränslen år 2030 [1]. Antalet elbilar i Sverige ökade under 2018 med 50 procent [2]. Trots detta utgör de endast en bråkdel av fordonsflottan [3]. Ett av de betydande hindren för storskalig användning av elbilar är bristen på en bekväm och prisvärd laddningsinfrastruktur. Tillgången av storskaliga laddstationer i offentliga och privata miljöer kommer därför spela en viktig roll i övergången till elbilar.

Bostadsrättsföreningen Masthugget i Göteborg är en aktör som insett detta. De har därför anlitat konsultföretaget WSP för att undersöka i vilken utsträckning deras olika garage, med totalt 1379 parkeringsplatser, kan utrustas med laddstolpar och ladda elbilar.

WSP ser dock problem med installationer av denna storlek då de medför ett extremt stort effektuttag. Det krävs därför att effekten till laddstolparna fördelas på ett sådant sätt att det totala effektuttaget inte blir för stort och löser ut huvudsäkring. Detta innebär att ju fler bilar som laddas samtidigt desto mindre effekt får varje enskild bil som därmed ökar tiden det tar för dem att laddas. Om laddningstiderna är större än vad som är acceptabelt för kunden betyder det att effekten till byggnaden med garaget är för liten vilket innebär att inkommande servisledningar behöver uppgraderas. Det är därför väsentligt att estimerade de förväntade laddningstiderna för att veta huruvida uppgradering av servisledningar behövs eller ej.

### 1.2 Syfte

Examensarbetet syftar till att undersöka hur de höga effektuttagen som uppkommer vid storskaliga installationer av laddstolpar bör hanteras, samt att utföra en storskalig projektering av laddstolpar i ett av Masthuggets garage. Projekteringen ska ske genom att först framställa en marknadsundersökning för att bestämma en lämplig modell av laddstolpe. Därefter ska ett program utvecklas för att avgöra huruvida en fastighet har tillräckligt med effekt för att upprätthålla de maximala laddningstiderna. Efter detta ska placering av laddstolpar, kablar och dylikt bestämmas i en ritning över garaget och slutligen ska dimensionering av kablar och säkringar genomföras. Programmet ska appliceras på samtliga av Masthuggets garage för att se vilka som uppfyller kravet på den maximala laddningstiden.

### 1.3 Avgränsningar

Projekteringen av laddstolpar kommer endast att utföras på ett av Masthuggets garage. Endast laddstolpar etablerade i Sverige med möjlighet för lastbalansering kommer att undersökas.

Följande antaganden har gjorts för att arbetet inte ska bli orimligt komplicerat:

- Samtliga bilar i garaget är elbilar.
- Alla bilar står kvar på sina parkeringsplatser när de är fulladdade vilket innebär att antalet laddningspunkter behöver motsvara antalet elbilar för att de ska kunna ladda.
- Bilarna börjar ladda direkt när de kommer in i garaget.
- Det tas inte hänsyn till huruvida laddningspunkterna i garaget är upptagna eller ej utan det antas att det alltid finns lediga laddningspunkter för de inkommande bilarna.
- Effektfaktorn är 0.95 i samtliga beräkningar. Detta för att Göteborgs Energi använder det då de utför beräkningar i lågspänning.
- Projekteringen förutsätter att all ledig effekt på fastighetens servis kan utnyttjas för laddning av elbilar.
- Det tas ingen hänsyn till kostnad i projekteringen.

### 1.4 Preciserings av frågeställningen

Arbetsuppgiften preciseras utefter följande tre delmål:

1. En marknadsundersökning bestående av en produktjämförelse på laddstolpar och lastbalanseringssystem från ledande svenska tillverkare. De specifikationer som är av betydelse för oss, och som därför kommer jämföras, är följande:

- Hur många laddstolpar ett lastbalanseringssystem kan styra.
- Den största och minsta laddeffekten laddstolparna kan transmittera.
- Vilket typ av skydd laddstolparna är utrustade med.

- Den totala kostnaden för laddstolparna och lastbalanseringssystemen.
- Miljöpåverkan vid tillverkningsprocessen och hur valet av material påverkar.

2. Utveckling av ett program vars funktion är att simulera ett laddningsscenario med syftet att avgöra huruvida effekttillförseln till en fastighet är tillräcklig för att uppfylla kravet på den maximala laddningstiden. För att beräkna detta behövs det tillgång till följande:

- Fastighetens effektförbrukning vid olika tider på dygnet.
- Storleken på fastighetens huvudsäkring.
- Flödet av bilar i fastighetens garage vid olika tider på dygnet.
- Hur mycket energi en elbil förbrukar på ett dygn i genomsnitt i det område fastigheten ligger.
- Den största och minsta effekten laddstolparna kan ladda bilarna med.

Programmet ska beräkna följande:

- Antalet bilar som hinner och som inte hinner bli fulladdade inom den maximalt tillåtna laddningstiden.
- Den maximala tiden det tar för en bil att bli fulladdad.
- Den maximala totala effekten bilarna förbrukar.
- Andelen av den tillgängliga energin som används.
- Maximala antalet elbilar garaget kan ladda under ett dygn.
  
- Det kritiska värdet på huvudsäkringen, alltså det värde vilket medför att alla bilar precis hinner bli fulladdade.

3. En projektering av laddstolpar i ett av Masthuggets garage vilken omfattas av följande delmoment:

- Placering av kablar, laddstationer och dylikt ska presenteras i en ritning över garaget.
- Kablar ska dimensioneras baserat på resultatet från programmets beräkningar.
- Spänningsfall och delkortslutningseffekter i valda kablar ska beräknas.
- Kortslutningsströmmar och tillåtna bryttider ska beräknas i utvalda punkter.
- Säkringar ska dimensioneras utifrån de valda kablarnas belastningsförmåga samt storleken på kortslutningsströmmarna.



# 2

## Teoretisk bakgrund

Detta kapitel behandlar väsentlig teori som används i rapporten i syfte att underlätta för läsaren att förstå dess innehåll.

### 2.1 Formler

För att skydda kablar mot höga strömmar som uppstår vid till exempel kortslutning och överlast används säkringar. Enligt SS 436 40 00 ska följande två villkor vara uppfyllda vid val av säkring:

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (2.1)$$

$$I_2 \leq 1.45 \cdot I_z \quad (2.2)$$

Dessa storheter har följande betydelse:

- $I_B$  är belastningsströmmen som en kabel är dimensionerad för, alltså den ström som förväntas gå igenom en kabel under normal drift.
- $I_n$  är säkringens märkström som är värdet på den ström då säkringen ska utlösas.
- $I_z$  är ledarens belastningsförmåga som är storleken på den ström en kabel kan belastas med utan att temperaturen i kabeln blir såpass hög att den drabbas av permanenta skador.
- $I_2$  är den ström som säkerställer funktionen hos säkringen.

För att beräkna den maximala belastningsströmmen i de valda kablarna används ekvation 2.3

$$I_{B,max} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} \quad (2.3)$$

där  $P_{max}$  är den maximala effekten kablarna förväntas transmitta,  $\cos \varphi$  är effektfaktorn och  $U_n$  är den nominella spänningen. En transformators delkortslutningseffekt beräknas med ekvation 2.4

$$S_{k,trafo} = \frac{S_n}{z_k} \quad (2.4)$$

där  $S_n$  är dess märkeffekt och  $z_k$  dess relativa kortslutningsimpedans. För att beräkna en kabels delkortslutningseffekt används ekvation 2.5

$$S_k = \frac{U_n^2}{Z_{Kabel}} \quad (2.5)$$

där  $Z_{kabel}$  är kabelns impedans. Den totala kortslutningseffekten i en punkt i ett seriekopplat nät beräknas med ekvation 2.6

$$S_{k,tot} = \left( \frac{1}{S_{k1}} + \frac{1}{S_{k2}} + \dots + \frac{1}{S_{kn}} \right)^{-1} \quad (2.6)$$

där  $S_{k1}$ ,  $S_{k2}$  och  $S_{kn}$  motsvarar delkortslutningseffekterna fram till beräkningspunkten. Då den totala kortslutningseffekten i en punkt är känd kan kortslutningsströmmen i punkten beräknas med ekvation 2.7

$$I_k = \frac{S_{k,tot}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (2.7)$$

För att beräkna den tid som en kabel kan utsättas för en viss kortslutnings ström utan att få permanenta skador används ekvation 2.8

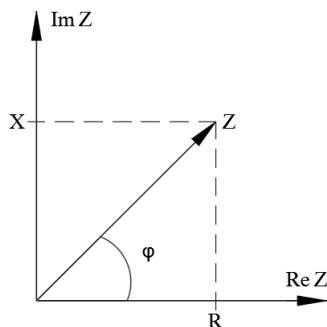
$$t = \left( \frac{s \cdot k}{I_k} \right)^2 \quad (2.8)$$

där  $s$  är tvärsnittsarean av kabeln i  $mm^2$  och  $k$  är en faktor som tar hänsyn till resistiviteten, temperaturkoefficienten och värmekapaciteten hos materialet. Resistansen för en kabel beräknas med ekvation 2.9

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2.9)$$

där  $\rho$  är resistiviteten för ledarmaterialet,  $l$  är kabelns längd och  $A$  är dess tvärsnittsarea. För att beräkna en reaktans då färförskjutningen mellan spänningen och strömmen samt resistansen är kända används ekvation 2.10. Sambandet mellan reaktansen och resistansen för passiv linjär tvåpols komplexa impedans  $Z$  illustreras i figur 2.1.

$$X = \tan \varphi \cdot R \quad (2.10)$$

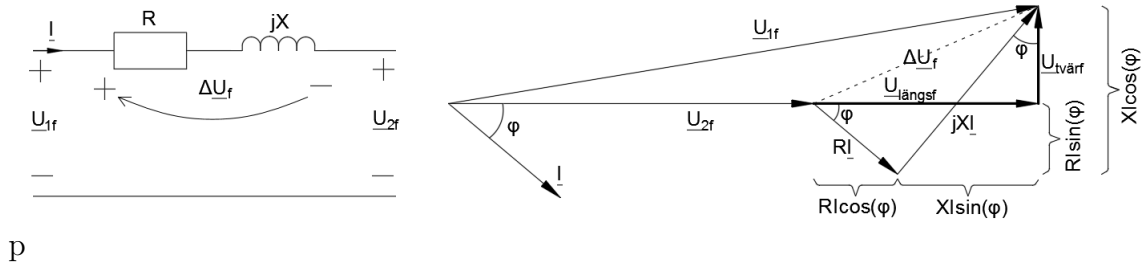


**Figur 2.1:** Illustration av en passiv linjär tvåpols komplexa impedans.

Absolutbeloppet av impedansen kan därmed beräknas med Pythagoras sats enligt ekvation 2.11

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (2.11)$$

Spänningsfallet över en kabel består av ett längsspänningsfall och ett tvärsänningsfall enligt figur 2.2 där längsspänningsfallet beräknas med ekvation 2.12 och tvärsänningsfallet beräknas med ekvation 2.13.



**Figur 2.2:** Ekvivalent Y-fas schema för en kabel med försummad shuntkapacitans t.v. och dess motsvarande visardiagram t.h.

$$U_{längsf} = RI \cos \varphi + XI \sin \varphi \quad (2.12)$$

$$U_{tvärf} = XI \cos \varphi - RI \sin \varphi \quad (2.13)$$

Storleken på huvudspänningsfallet  $\Delta U$  kan då beräknas med Pythagoras sats enligt ekvation 2.14

$$|\Delta U| = \sqrt{3} \cdot \sqrt{U_{längsf}^2 + U_{tvärf}^2} \quad (2.14)$$

## 2.2 Lastbalansering

Det som huvudsakligen begränsar antalet bilar som kan laddas i ett garage är storleken på fastighetens huvudsäkring. För att undvika att huvudsäkringen löses ut vid överlast används olika typer av lastbalansering.

Lastbalansering mäter kontinuerligt strömmen som fastigheten förbrukar och jämför den med huvudsäkringen. Skillnaden mellan storleken på huvudsäkringen och fastighetens ström ger den maximala strömmen laddstolparna får ladda bilarna med. Om laddströmmen överskrider den maximalt tillåtna strömmen styr lastbalanseringssystemet ned den så att tillåten strömstyrka upprätthålls. På så vis är det alltid möjligt att ladda elbilar oberoende av hur hög belastningen i fastigheten är utan att man utlöser huvudsäkringen. Dock kan laddningstiden bli oacceptabelt lång om strömmen styrs ned alltför mycket.

## 2.3 Masthugget

Bostadsrättsföreningen Masthugget i Göteborg bildades år 1980 i sin befintliga konfiguration och är Sveriges största Bostadsrättsförening. De verksamheter som föreningen upplåter består huvudsakligen av bostäder, men de hyr även ut lokaler till andra verksamheter såsom butiker, kontor och lager. De har också lokalverksamheter för skola, daghem, äldreboende, teater, vandrarhem och två idrottshallar.

Föreningen har totalt 1379 stycken parkeringsplatser fördelade över nio olika garage. Antalet parkeringsplatser per garage kan ses i tabell 2.1. P2 ingår inte då fastigheten bytt ägare.

**Tabell 2.1:** Antalet parkeringsplatser per garage.

Garage	Antal parkeringsplatser
P1	676
P3	29
P4	90
P5	79
P6	177
P7	76
P8	97
P9	36
P10	119
<b>Totalt:</b>	<b>1379</b>

## 2.4 Laddningsmoder och kontakttypen

Det finns fyra olika laddningsmetoder för att ladda elfordon, så kallade laddningsmoder, och ett flertal olika kontakttypen som varierar beroende på biltillverkare samt var i världen man befinner sig. Det här avsnittet behandlar de kontakttypen som har standardiserats i Europa samt de olika laddningsmoderna. Informationen har hämtats från Svensk Elstandard [4].

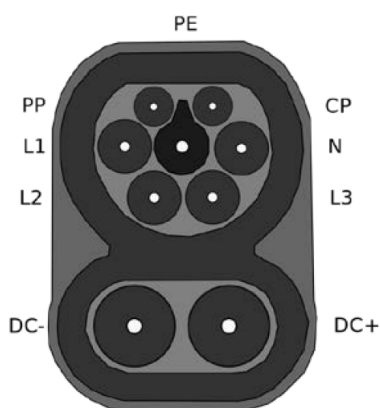
### 2.4.1 Kontaktdon Typ 2 och Combo 2

Det standardiserade kontaktdonet i Europa för växelström kallas Typ 2, och för likström Combo 2 (figur 2.3). De ingår i ett system kallat Combined Charging System (CCS) vilket innebär att intaget i ett elfordon kan laddas med båda kontakttyperna. I figur 2.4 visas det kombinerade intaget där den övre delen är för växelströmladdning och den undre för likströmladdning.

Oavsett vilket kontaktdon som används sker kommunikationen mellan elfordon och laddstolpe i Proximity Pilot (PP) och Control Pilot (CP) stiftet. De kontrollerar att kontakten är isatt på ett korrekt sätt. PP hindrar även elfordonet från att köras under laddning.



**Figur 2.3:** Standardiserade kontaktdon i Europa. Typ 2 t.v. och Combo 2 t.h. [4]



**Figur 2.4:** Kombinerat intag CCS för anslutning av typ 2 eller Combo 2. [4]

### 2.4.2 Mod 1

Laddningsmod 1 sker med ett vanligt vägguttag och är endast lämpligt för mindre elfordon med inbyggda batteriladdare och kontrollsystem. Då det saknas kontroll och skyddsfunktion är denna laddningsmod ej lämplig för elbilar.

### 2.4.3 Mod 2

Laddningsmod 2 sker också med ett vanligt vägguttag men här används en anslutningskabel till elfordonet som har en inbyggd kontrollenhet som kontrollerar laddningsförloppet, kallad Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE). Denna typ av laddning bör dock undvikas då det är okänt vilka strömmar eluttaget är dimensionerat för.

### 2.4.4 Mod 3

I laddningsmod 3 sker laddningen via en laddstation med inbyggd kontrollenhet och anpassade kontaktdon. Denna typ av laddstation kan ladda med en ström upp till 63 A om anslutningskabeln är dimensionerad för sådana strömmar, om inte begränsas

strömmen till en nivå som kabeln klarar av. Denna laddningsmetod rekommenderas för laddning i hemmet

### **2.4.5 Mod 4**

I laddningsmod 4 sker laddningen med likström upp till 400  $A$  och med spänningar upp till 1000  $V$ . Det som begränsar laddningseffekten är bilens batteri och dess förmåga att hantera höga strömmar utan att bli överhettat. Laddningseffekterna tenderar att vara mellan 40  $kW$  - 130  $kW$  [4].

# 3

## Metod

I detta kapitel ges en kortfattad beskrivning av de metoder som används för att utföra arbetet. En mer ingående beskrivning av tillvägagångssättet för hur de olika delmomenten utförs ges i deras motsvarande sektion i rapporten.

Marknadsundersökningen utförs genom att söka information om de olika produkterna på företagens hemsidor. I de fall då information om en produkt saknas eller om det uppstår oklarheter kring den information som finns tillgänglig kontaktas företaget bakom produkten via e-post eller telefon.

För att utveckla det program vars huvuduppgift är att simulera ett laddningsscenario används Matlab. Anledningen till detta är för att Matlab kan utföra matematiska beräkningar och presentera data på ett visuellt sätt i form av grafer.

Effektbelastning över en nätstation i Masthugget införskaffas från Göteborgs Energi via personal på WSP som tidigare varit anställd där. Den kommer användas för att uppskatta effektbelastningen på de fastigheter i Masthugget där installation av laddstolpar är aktuellt.

Flödet av bilar erhålls genom att genomföra en mätning på ett av Masthuggets garage. Garagets in- och utgång övervakas och för varje timme noteras alla inkommande och utgående bilar med penna och papper. Detta då Masthugget inte utför någon sådan mätning på deras garage och en liknande mätning från ett godtyckligt bostadsområde kunde ej införskaffas.

I projekteringen bestäms först placering av laddstolpar, kablar och dylikt beroende på garagets utformning. Detta presenteras i en ritning över garaget som skapas i CAD-programmet Autocad. Därefter dimensioneras kablar utifrån den maximala effekt de förväntas transmitta. Efter det beräknas spänningsfall och delkortslutningseffekter i de valda kablarna. Sedan beräknas kortslutningsströmmar och tillåtna bryttider i utvalda punkter. Slutligen dimensioneras säkringar med avseende på ledarnas belastningsförmåga samt storleken på kortslutningsströmmarna. Dimensioneringen av kablar och säkringar genomförs för att uppfylla Sveriges elinstallationsregler.



# 4

## Marknadsundersökning

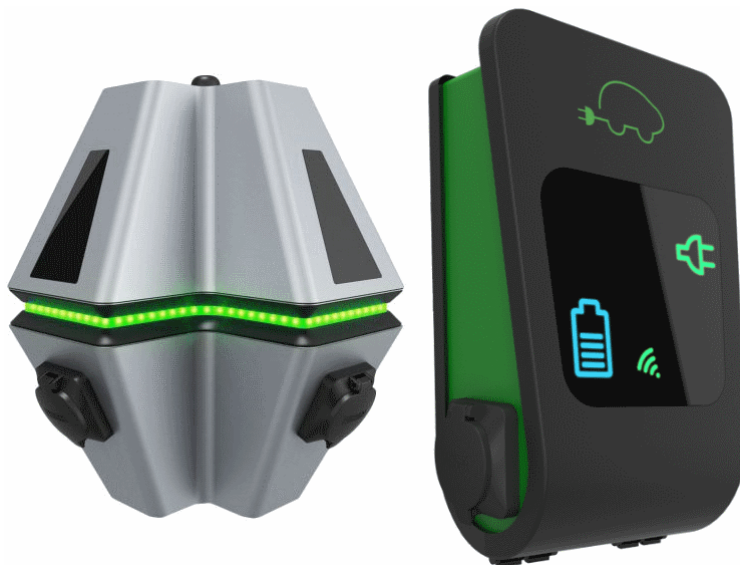
Detta kapitel undersöker de laddstolpar och lastbalanseringssystem som finns på den svenska marknaden genom att redogöra för deras egenskaper och funktioner. Undersökningen begränsas till de tillverkare vars lastbalanseringssystem kan styra ett obegränsat antal laddstolpar. Tillverkarna har dock inte sett deras produkter användas i installationer större än cirka 50 laddstolpar och kan därför endast ange deras begränsningar i teorin.

### 4.1 Chargestorm

Chargestorm har ett flertal lastbalanseringssystem med samlingsnamnet NanoGrid där NanoGrid-Grid Central är ett av dessa. Grid Central är ett dynamiskt lastbalanseringssystem som är speciellt framtaget för fastigheter och större parkeringar. Det finns ingen begränsning på antalet laddningspunkter som kan vara inkopplade på systemet.

Grid Central har ett separat apparatskåp innehållande teknisk utrustning för att sköta lastbalansering och styrning [5]. Strömmen mäts på inkommande servis och storleken på huvudsäkringen matas in i Grid Centralens styrkort.

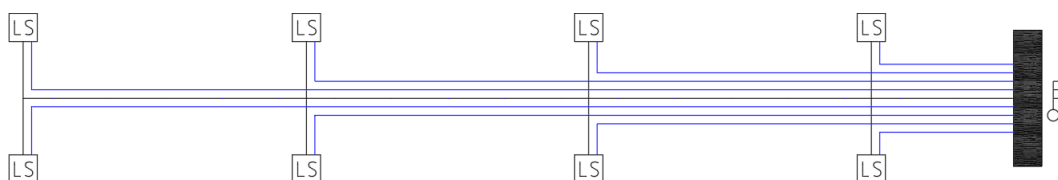
För att lastbalanseringen ska fungera måste någon av laddstolparna EVA Connected (figur 4.1) eller CSR100 användas då de innehåller den strömtransformator och det styrkort som krävs för att stödja lastbalanseringen [6], [8]. Detta gör det möjligt att begränsa laddeffekten då en överlastsituation uppstår, det finns även möjlighet till prioritering av specifika fordon eller laddstolpar. Båda laddstolparna kan transmittera laddeffekt från 1.4 *kW* upp till 22 *kW* och är utrustade med jordfelsbrytare, säkring och DC-läckage detektor [6], [8].



**Figur 4.1:** CSR100 t.v och Eva Connected t.h. [7].

Chargestorm har även utvecklat en molntjänst där anläggningsägaren får tillgång till statistik och kan utföra mjukvaruuppdateringar samt RFID-tagghantering.

Kommunikationen mellan lastbalanseringssystemet och laddstolparna sker via en ethernetkabel som förläggs i ett stjärn nät, vilket innebär att det måste gå en kabel till vardera laddstolpe från apparatskåpet.



**Figur 4.2:** Stjärnätetsförläggning där de blåa kablarna är datakablar, de svarta är kraftkablar och LS representerar en laddstolpe.

Chargestorms tillverking sker huvudsakligen i Sverige. I tillverkningsprocessen eftersträvas användandet av svenska material och produkter som är blyfria och återvinningsbara. Därmed undviks användandet av metaller från länder i krig, så kallade konfliktmetaller.

## 4.2 CaCharge

Cacharge har endast en typ av laddstolpe och ett lastbalanseringssystem vars namn är Cacharge Flex Power Meter. Systemet styr laddstolparnas laddeffekt med hänsyn på servicens säkringsnivå men tar även hänsyn till säkring i laddstolparna, på grupp-nivå och undercentralsnivå. I teorin finns det ingen övre gräns på antalet laddstolpar som kan styras.

Cacharges laddstolpe är en mode 3 laddare utrustad med typ 2 uttag, personskyddsbrytare typ A och detektor för DC-läckström, se figur 4.3. Laddstolparna kan transmitta effekter mellan 1.4-11  $kW$  [9]. Cacharges motivering till den relativt låga maximala laddningseffekten är att bilar ofta står parkerade under långa perioder och har därmed ett lågt energibehov. Enligt Cacharge räcker det därför med 11  $kW$  för att tillgodose bilarnas energibehov.



**Figur 4.3:** Laddbox från Cacharge [11].

Lastbalanseringssystemet har möjligheten att prioritera specifika laddare, fordon, alternativt olika avtalstyper för besökare eller boende. De har även en molnbaserad tjänst med tillgång till laddningsstatistik och ett administratörsgränssnitt där det kan bestämmas vilken avtalstyp som har tillgång till vilken laddplats. Kommunikation mellan laddstolpe och styrenhet kan ske både via wifi och Powerline Communication (PLC) [9], vilket innebär att data skickas via elnätet. Extra datakablar behövs därmed inte.

För att erhålla en effektiv styrning använder Cacharge två olika algoritmer. En för att prioritera vilka fordon som laddas baserat på hur länge de har varit parkerade, hur mycket energi de har laddats med samt hur deras historiska laddningsbeteende ser ut. Parallellt med denna används en algoritm vilken finner den bästa laddningskombinationen av de inkopplade bilarna så att den tillgängliga effekten används så effektivt som möjligt.

Laddstolparna är tillverkade i Munkfors med svenska miljöklassade komponenter i den mån det går. Aluminiumet till kapslingen importerar från Tjeckien och är återvinningsbar.

### 4.3 Eldon

Eldon har tillsammans med Epspot tagit fram en helhetslösning där Eldon producerar laddstolpen och Epspot utvecklar mjukvaran för styrning och lastbalansering. Eldons laddstolpe kallas ECO One och är en mode 3 laddare med två typ 2 uttag, se figur 4.4. Den har inbyggd säkring, en typ-B jordfelsbrytare med DC-läckage detektering och kan transmitta en laddningseffekt mellan 3.7-22  $kW$  [12].



**Figur 4.4:** ECO One [12].

Kommunikationen för styrning sker via elnätet och varje laddstolpe står i direktförbindelse med Epspots mjukvara. För att kommunikation ska fungera monteras en Powerline Communication-adapter i matande central. Därmed kan laddstolparnas kapacitet styras efter specifika önskemål. Administratören kan via mjukvaran effektstyra olika bestånd av laddstolpar och ändra affärs- samt betalmodell. Laddstolparna tillverkas i Nässjö av återvinningsbar aluminium och har en uppskattad livslängd på 15 år.

## 4.4 Sammanställning

Egenskaperna för de olika laddstolparna har sammanställs i tabell 4.1. Detta för att få en tydlig överblick över laddstolparna och därmed underlätta jämförelsen mellan dem.

**Tabell 4.1:** Sammanställning av de olika laddstolparnas egenskaper

Specifikationer	Chargestorm	Cacharge	Eldon
Jordfelsbrytare	Ja	Ja	Ja
DC-detektering	Ja	Ja	Ja
Säkring	Ja	Ja	Ja
Max antal laddstolpar	Obegränsat	Obegränsat	Obegränsat
Laddeffekt [ $kW$ ]	1.4-22	1.4-11	3.7-22
Kostnad laddstolpe [ $kr$ ]	9475	5950	35000-36000
Kostnad kringutrustning [ $kr$ ]	Avgift: 950 3G-modem: 2250	Router: 3000 PLC-adapter: 2000 Accesspunkt inomhus:1200	Kommunikationsbrygga: 2500
Kostnad lastbalansering [ $kr$ ]	19500	15000	

# 5

## Databehandling

Detta kapitel behandlar införskaffad data samt hur den har bearbetats för att representera den information som är nödvändig för att utföra arbetet.

### 5.1 Elbilens energibehov

För att beräkna hur mycket energi en elbil i Göteborg förbrukar under ett dygn i genomsnitt har statistik om elbilars energiförbrukning och körsträcka använts. Energiförbrukningen per 100 km har framtagits för de 10 mest använda elbilarna i Sverige[13], [14]. I tabell 5.1 visas de vanligaste elbilarna och deras energiförbrukning, samt hur många det finns av respektive bil.

**Tabell 5.1:** Sveriges 10 vanligaste elbilar och deras energiförbrukning.

Bilmärke	Antal	Förbrukning [kWh/100 km]
Kia E-niro	900	16.3
Nissan E-NV200	1090	20.0
E-Golf	1139	16.8
Tesla Model X	1146	21.3
Tesla Model 3	1448	16.4
BMW I3	1456	16.5
Renault Kangoo Z.E	1858	18.8
Tesla Model S	3824	18.6
Renault ZOE	4179	16.7
Nissan leaf	4252	17.1
<b>Totalt:</b>	<b>21292</b>	

Utifrån värdena i tabell 5.1 kan en genomsnittlig energiförbrukning per km beräknas för en bil i Sverige enligt ekvation 5.1 genom att dela den totala energiförbrukningen för alla bilar med det totala antalet bilar.

$$E_{km} = \frac{900 \cdot 16.3 + 1090 \cdot 20.0 + \dots + 4252 \cdot 17.1}{21292 \cdot 100} = 0.177 \text{ kWh/km} \quad (5.1)$$

Enligt Statistiska centralbyrån är den årliga körsträckan för ett personfordon i Göteborg 12200 km, vilket ger en daglig körsträcka på 33.4 km [15].

Det dagliga energibehovet för en elbil i Göteborg kan då beräknas enligt ekvation 5.2 där  $l$  motsvarar den dagliga körsträckan.

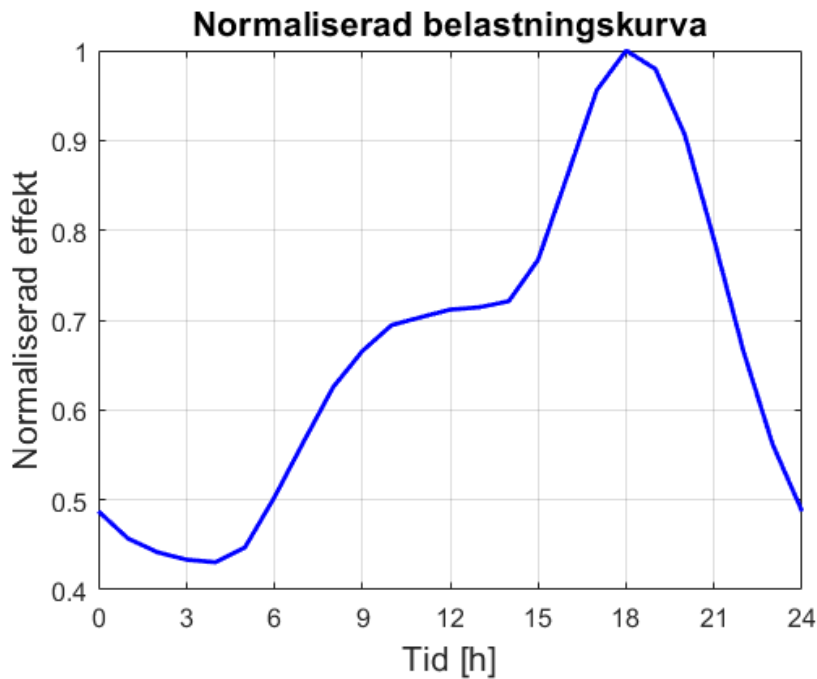
$$E_{behov} = l \cdot E_{km} = 5.90 \text{ kWh} \quad (5.2)$$

### 5.2 Tillgänglig effekt

Den tillgängliga effekten vid olika tider på dygnet behövs för den fastighet vars garage projekteringen behandlar. Med tillgänglig effekt menas den effekt som kan användas för att ladda elbilar. Det är därför nödvändigt att bestämma fastighetens effektbelastning vid olika tider på dygnet samt storleken på dess huvudsäkring. Detta eftersom skillnaden mellan huvudsäkringen uttryckt i effekt och effektbelastningen representerar den tillgängliga effekten.

Tillgång till resultatet av en mätning utförd av Göteborgs Energi har beviljats där effektbelastningen på två transformatorer i en nätstation i Masthugget fastställts. Detta genom en kontakt på WSP som tidigare varit anställd på Göteborgs Energi. Effektbelastningen har mätts varje timme under en period på två månader då belastningen var som störst, nämligen November och December 2018. Totalt sett har tillgång till 1440 mätvärden för vardera nätstation erhållits.

Utifrån mätvärdena har en normaliserad genomsnittlig belastningskurva tagits fram för ett dygn och hur detta har gått till redovisas i avsnitt 6.3. Kurvan används för att bestämma effektbelastningen för en godtycklig fastighet genom att skala om den med avseende på fastighetens maximala belastning. För att detta ska anses som en legitim metod måste fastigheterna vara av samma typ av verksamhet. Då följer det att formen på belastningskurvorna har ett likartat mönster och det är därför endast amplituden som huvudsakligen skiljer dem åt. Den normaliserad kurvan kan ses i figur 5.1.



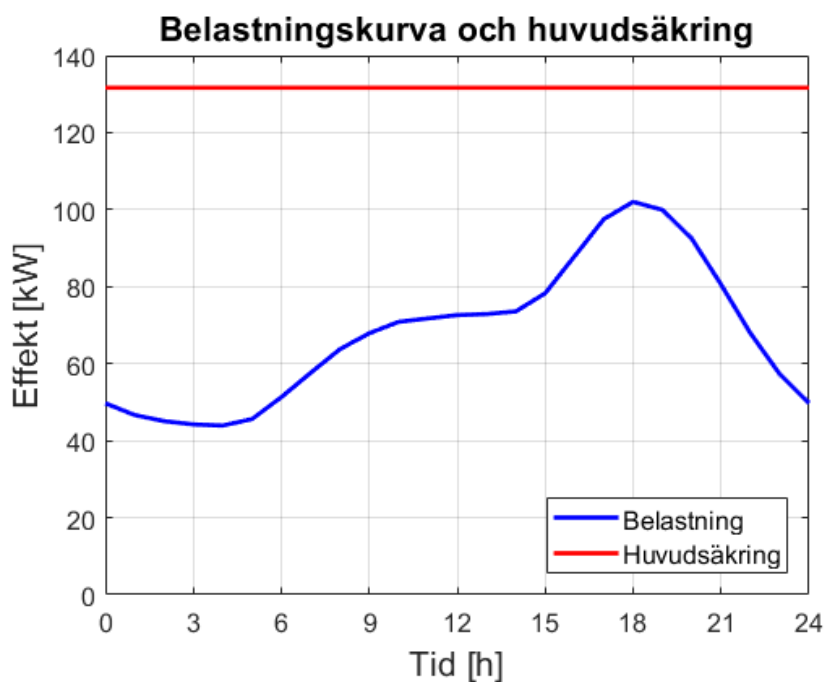
**Figur 5.1:** Normaliserat genomsnitt av effektbelastningen från två nätstationer i Masthugget

Tillgång till en tidigare utredning gjord av WSP har beviljats där storleken på huvudsäkringen samt den maximala belastning bestämdes på Masthuggets olika fastigheter. Detta kan ses i tabell 5.2.

**Tabell 5.2:** Storlek på huvudsäkring samt maximal belastning för de fastigheter i Masthugget med garage

Garage	Huvudsäkring [A]	Maximal belastning [A]
P1	250	186
P3	125	132
P4	125	132
P5	200	155
P6	125	132
P7	315	147
P8	200	65
P9	125	132
P10	125	132

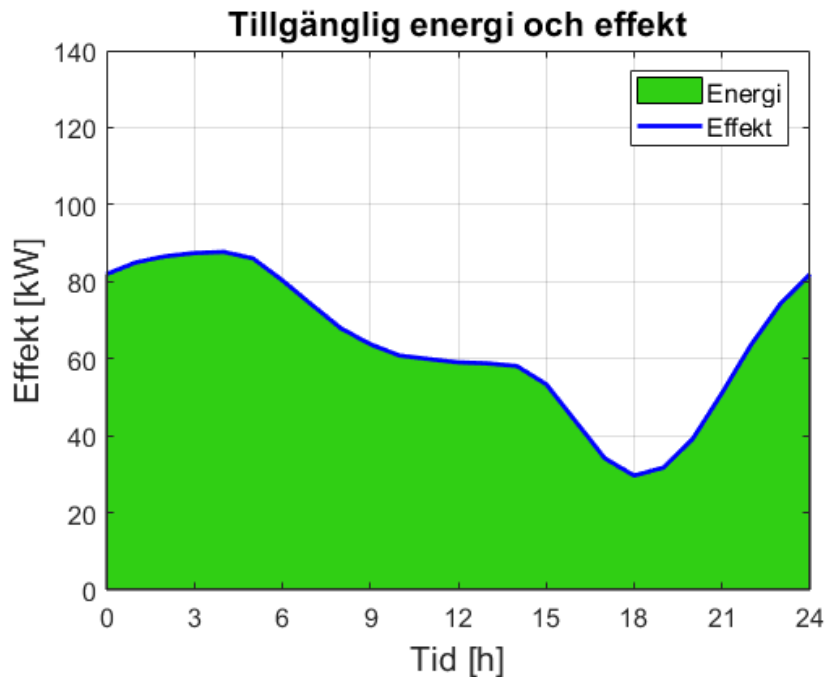
Med dessa värden kan den tillgängliga effekten beräknas för de olika fastigheterna. Den normaliserade belastningskurvan skalas upp med den maximala belastningen omräknad till effekt med ekvation 2.3. På samma sätt räknas även huvudsäkringen om till en maximalt tillåten effekt. Vad detta resulterar i visas i figur 5.2 där fastigheten med garage P5 används som exempel.



**Figur 5.2:** Belastningskurva och huvudsäkring för fastigheten med garage P5.

Beräkning av skillnaden mellan huvudsäkringen och belastningskurvan resulterar i den tillgängliga effekten för fastigheten, alltså den potentiella effekten som inte används och skulle därför kunna användas för att ladda elbilar. Om den tillgängliga effekten under ett dygn integreras resulterar det i den tillgängliga energin för dygnet. Detta gör det möjligt att beräkna antalet elbilar fastigheten förmår att ladda i genomsnitt under dygnet då all tillgänglig energi används.

Det förutsätter dock att det alltid finns elbilar i behov av laddning för att ta tillvara på all tillgänglig energi. Detta kan därför ses som ett idealfall där fastighetens maximala kapacitet för att ladda elbilar fastställs. Den tillgängliga effekten och energin för fastigheten med garage fem kan ses i figur 5.3.



Figur 5.3: Tillgänglig effekt och energi för fastigheten med garage P5.

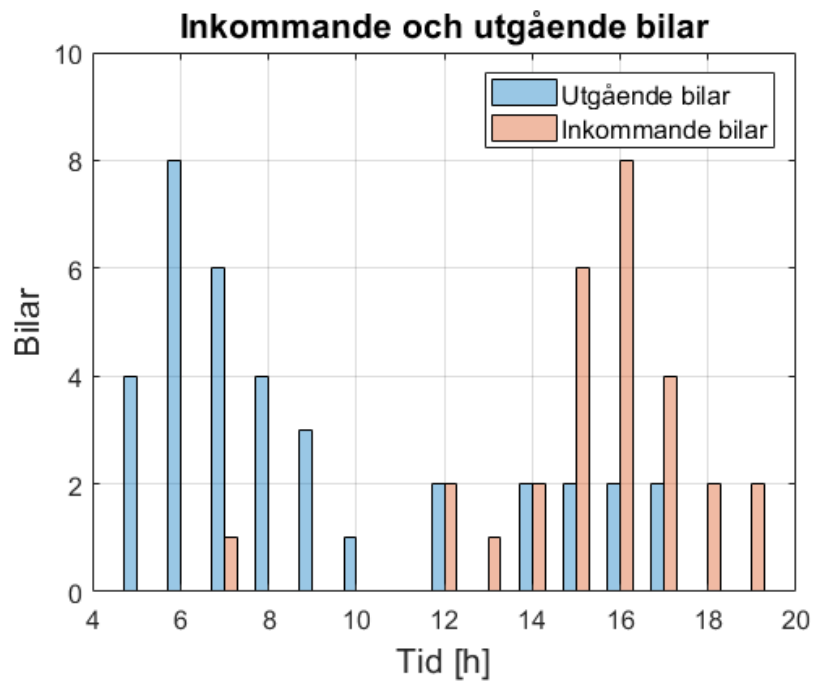
### 5.3 Bilflöde

För att utföra en simulering av ett laddningsscenario i ett garage behövs det data för dess bilflöde. Flödet av de inkommande bilarna är nödvändigt för att beräkna antalet bilar som laddas samt den effekt de tilldelas. Även flödet av de utgående bilarna är användbart eftersom det indikerar vid vilken tid folk tenderar att lämna hemmet och kan därför användas för att motivera tiden då bilarna bör vara fulladdade.

En mätning av bilflödet har därför utförts på garage P8 i Masthugget mellan klockan fyra på morgon och åtta på kvällen. För varje timme noterades alla inkommande och utgående bilar med penna och papper genom att övervaka in- och utgången till garaget. Detta då den mätutrustning som normalt används för att mäta bilflöden inte kunde införas.

Garage P8 valdes dels på grund av dess läge vilket erbjöd en relativt bekväm sittplats med en klar sikt på in- och utgången, men även för att verksamheten i fastigheten består huvudsakligen av bostadsrätter vilket resulterar i ett tydligt parkeringsmönster.

Anledningen till varför mätningen utfördes mellan de angivna tiderna och inte för hela dygnet är för att det är under dessa timmar som majoriteten av aktiviteten i garaget sker. Det är inte heller rimligt att sitta utomhus och mäta bilar i ett helt dygn då det innebär ökade säkerhetsrisker och kyla. Resultatet från mätningen kan ses i figur 5.4. Från figuren noteras det att de flesta bilar lämnar garaget runt klockan sex på morgon och kör in i garaget runt klockan fyra på eftermiddagen.



**Figur 5.4:** Flödet av bilar mellan klockan fyra på morgon och åtta på kvällen för garage P8.

Bilflödet kan appliceras på ett godtyckligt garage genom att dela det med storleken på garaget där mätningen skedde och därefter skala upp resultatet med storleken på det garage man vill veta bilflödet på. Detta förutsätter förstås att parkeringsmönstret för det garage kurvan appliceras på är likartat garaget där mätningen skedde. Detta är troligtvis fallet om fastigheterna garagen finns i bedriver samma typ av verksamhet.

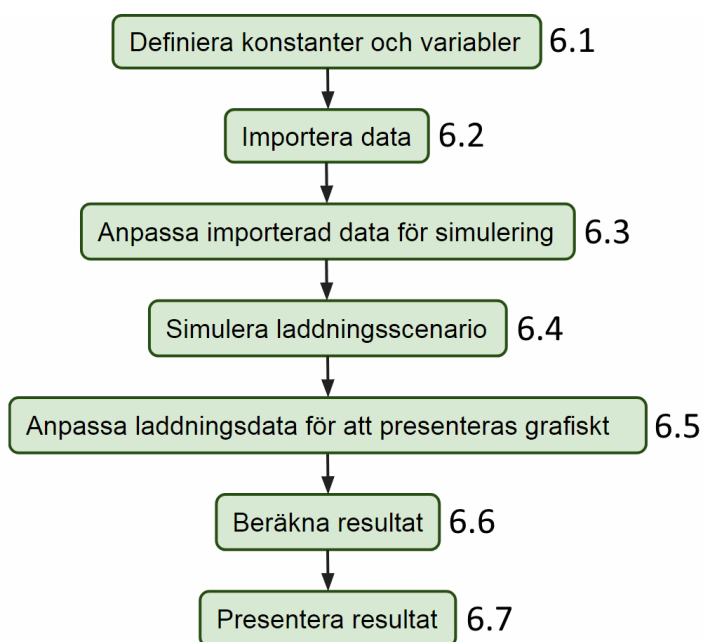
# 6

## Matlab-program

Detta kapitel redogör för hur Matlab-programmet fungerar. Programmet ska simulera ett laddningsscenario baserat på den införskaffade datan. Detta för att veta huruvida en fastighet har tillräckligt med tillgänglig effekt för att uppfylla den garanti på laddningstiden man eftersträvar, den så kallade laddningsgarantin. Annan information som är av intresse då den är användbar för projekteringen samt ger en uppfattning av i vilken utsträckning laddningsgaranting är uppfylld eller ej är följande:

- Den största totala effekten som fördelas till de bilar som laddas.
- Den maximala tiden det tar för en bil att bli fulladdad.
- Antalet bilar som hinner och som inte hinner bli fulladdade inom garantin.
- Antalet bilar som kan bli fulladdade då all tillgänglig energi används.

Programmet delas upp i sju olika delar där varje del beskrivs i sitt motsvarande avsnitt. De olika delarna samt exekveringsordningen mellan dessa kan ses i figur 6.1. Hela programkoden tillsammans med kommentarer kan ses i bilaga A.2 där kommentarena förutsätter att läsaren har grundläggande kunskaper inom Matlab-programmering.



**Figur 6.1:** Programmets olika delar och exekveringsordningen mellan dessa

### 6.1 Definiera konstanter och variabler

I den här delen av programmet definieras de konstanter och variabler som används i programmet. Här kan värdet på parametrar justeras så att programmet gör beräkningar utefter de förutsättningar som gäller för användaren. De parametrar som behöver anpassas är följande:

- Storleken på fastighetens huvudsäkring i Ampere.
- Laddstolparnas belastningsförmåga.
- Minsta strömmen en bil behöver för att ladda.
- Maximal uppmätt belastning för fastigheten i Ampere.
- Andel av bilarna i garaget som är elbilar.
- Elbilarnas genomsnittliga energibehov per dygn.
- Antalet parkeringsplatser i garaget.
- Laddningsgarantin, alltså den tid på dygnet då bilarna ska vara fulladdade.

### 6.2 Importera Data

Nästa steg i programmet är att importera data från excel- och textfiler. Den data som importeras är följande:

- Effektbelastningen på de två transformatorerna i Masthugget över två månader.
- Flödet av bilar i fastighetens garage.
- En färgkarta bestående av 64 färger från rött till grönt för att visuellt representera den mängd energi bilarna har laddats med.

Datan tilldelas till arrayer där varje element motsvarar ett datavärde. Datan med inkommande bilar kopieras så den omfattar två dygn. Detta för att ta hänsyn till eventuella inkommande bilar mellan midnatt och fram tills den valda laddningsgarantin.

### 6.3 Anpassa importerad data för simulering

Här utförs beräkningar på den importerade datan som är nödvändiga för att simulera ett laddningsscenario. Det som behöver beräknas är följande:

- Genomsnittlig effektbelastning för nätstationen i Masthugget.
- Fastighetens effektbelastning.
- Fastighetens tillgängliga effekt.
- Garagets flöde av bilar.

För att beräkna en genomsnittlig effektbelastning på nätstationen i Masthugget över ett dygn används två nästlade for-loopar där den yttre loopen indexerar timmar och den inre indexerar dagar. Den yttre loopen körs därför 24 gånger som motsvarar ett dygn och den inre loopen körs 60 gånger som motsvarar två månader. Vid den första iterationen på den yttre loopen summeras alla effekter för den första timmen över alla 60 dagar. Därefter delas summan med antalet dagar för att få medelvärdet. När

den yttre loopen är färdig har medelvärdet för alla timmar över 60 dagar beräknats och tilldelats en array. Precis som med de inkommande bilarna utökas arrayen med den genomsnittliga effektbelastningen så den omfattar två dygn på grund av laddningsgarantin.

För att beräkna fastighetens effektbelastning normaliseras den genomsnittlig effektbelastning genom att bestämma det största elementet och dela det med alla element. Efter det skalas alla normaliserade element upp med fastighetens maximala belastning uttryckt i effekt vilket resulterar i effektbelastning för fastigheten.

För att beräkna fastighetens tillgängliga effekt subtraheras dess huvudsäkring uttryckt i effekt från varje element i arrayen med fastighetens effektbelastning. Det behövs även ett villkor då effektbelastningen för en viss timme är större än huvudsäkringen eftersom då blir den tillgängliga effekten negativ. Men att prata om en negativ tillgänglig effekt är meningslöst för att då ingen effekt kan ges. Därför sätts den tillgängliga effekten till noll när villkoret är uppfyllt.

För att beräkna garagets flöde av bilar delas det uppmätta bilflödet med storleken på garaget där mätningen skedde. Därefter multipliceras resultatet med storleken på det garage man vill veta bilflödet på och avrundas neråt då antalet bilar är ett heltal.

## 6.4 Simulera laddningsscenario

Här utförs huvuddelen av programmet som är att simulera ett laddningsscenario baserat på den tillgängliga effekten och de inkommande bilarna. Avsikten med simuleringen är att veta om garaget klarar av att ladda de inkommande bilarna tillräckligt snabbt så att laddningsgarantin uppfylls.

Simuleringen sker inom en for-loop där antalet iterationer är lika med antalet timmar på ett dygn plus de timmar som laddningsgarantin omfattar. Exempelvis om man har kravet att de bilar som kommit in under dygnet ska vara fulladdade klockan sju nästa morgon kommer loopen exekvera 31 gånger. Detta för att gå igenom alla timmar fram tills dess så att nödvändiga beräkningar kan utföras.

Effekten som fördelas till bilarna vid en viss timme beräknas genom att dela fastighetens tillgängliga effekt för den timmen med antalet bilar som laddas. Antalet bilar som laddas baseras på datan med inkommande bilar. Det antas därför att alla bilar som kommer in i garaget börjar ladda. Antalet bilar som laddas vid en viss timme ökar då med motsvarande mängd bilar som kommer in i garaget vid samma timme. När en bil är fulladdad behöver den inte längre laddas och därför minskar antalet bilar som laddas vid en viss timme med motsvarande mängd bilar som blivit fulladdade den timmen.

Det antas att vid midnatt då simuleringen startar är antalet bilar som laddas noll. Dock skulle det kunna vara bilar som fortfarande laddas från dagen innan vid den

tiden men detta är okänt. Simuleringen måste ju börja någonstans och det är svårt att veta i förhand hur många bilar som laddas just då. Det har därför antagits att när simuleringen börjar är garaget helt tomt på bilar och antalet bilar som laddas är då noll.

I de fall då effekten till bilarna överstiger laddstolparnas belastningsförmåga begränsas effekten till den maximalt tillåtna. Om effekten till bilarna istället är mindre än den minsta effekt en bil behöver för att ladda så behöver effekten till bilarna räknas om. Den tillgängliga effekten delas med den minsta effekt en bil behöver för att ladda och avrundas neråt för att veta hur många bilar som kan ladda. Därefter räknas effekten till bilarna om med hänsyn till de bilar som faktiskt kan ladda.

Exempelvis om det är fem bilar som laddar och den tillgängliga effekten är 6 kW så tilldelas varje bil 1.2 kW vardera. Men om den minsta effekten en bil behöver för att ladda är till exempel 1.4 kW kommer ingen av de fem bilarna att börja ladda. Antalet bilar som faktiskt kan ladda då den tillgängliga effekten är 6 kW är fyra stycken. Effekten till bilarna blir då 1.5 kW vardera där endast fyra av de fem bilarna laddas, vilket är bättre än att ingen av bilarna laddas.

Alla inkommande bilar lagras i en matris där varje rad motsvarar en bil, kolumn ett motsvarar energin som bilarna laddats med och kolumn två motsvarar antalet timmar som bilarna har laddats. Matrisen innehåller alltså data förknippad med laddning av bilar och kallas därför för laddningsdata. För varje timme ska energin som bilarna har laddats med uppdateras. Detta sker med en while-loop som går igenom alla rader i laddningsdatan och uppdaterar energin med storleken på den effekt bilarna var tilldelade förra timmen. Anledningen till detta är för att energin har enheten kilowattimme och effekten kilowatt vilket gör att storleken på effekten under en timme motsvarar energimängden.

För att beräkna den totala effekten som fördelas till bilarna för varje timme multipliceras effekten till bilarna med antalet bilar som laddas. Resultatet lagras i en array för att senare i programmet bestämma den största totala effekten som fördelas till bilarna.

Antalet timmar bilarna har laddats beräknas också för varje timme med en while-loop som går igenom alla rader i laddningsdatan och jämför energin i bilarna med energibehovet för en elbil i Göteborg. Om en bil inte är fulladdad ökar antalet timmar bilen har laddats med ett.

### **6.5 Anpassa laddningsdata för att presenteras grafiskt**

När simuleringen är färdig innehåller matrisen med laddningsdatan alla bilar som har laddats samt deras energiökning och laddningstid. Eftersom varje bil motsvarar en rad i matrisen blir den mycket stor och omständigt att tyda. Det är därför för-

delaktigt att anpassa laddningsdatan för att kunna presenteras grafiskt i syfte att få en tydlig överblick över innehållet.

De rader i laddningsdatan med identisk information grupperas och tilldelas en annan matris kallad för simuleringsresultat där elementen motsvarar bilarnas energiökning, raderna motsvarar antalet timmar de har laddats och kolumnerna motsvarar antalet bilar. Detta innebär att antalet bilar som laddats en viss tid med en viss energiökning representeras med endast ett element i simuleringsresultatet.

Syftet med detta är att skapa ett tredimensionellt stapeldiagram baserat på simuleringsresultatet där z-axeln motsvarar bilarnas energiökning, x-axeln motsvarar antalet bilar och y-axeln motsvarar bilarnas laddningstid. Varje element i simuleringsresultatet blir då en stapel i diagrammet som visar hur många bilar som har laddats, hur länge de har laddats och vad deras energiökning är från den tid då de parkerades i garaget.

## 6.6 Beräkna resultat

I den här delen utförs beräkningar för att erhålla informationen som nämns i inledningen till kapitlet.

För att beräkna den största totala effekten som fördelas till bilarna appliceras funktionen `max` på arrayen innehållande den totala effekten som fördelas till bilarna för varje timme. Funktionen extraherar det största elementet som då är den största totala effekten som fördelas till bilarna och är därför dimensionerande.

Den maximala tiden det tar för en bil att bli fulladdad beräknas genom att applicera `max` funktionen på kolumn två i matrisen med laddningsdatan där antalet timmar bilarna har laddats med är lagrade.

Antalet bilar som hinner och inte hinner bli fulladdade inom laddningsgarantin beräknas med en `while`-loop som går igenom alla rader i laddningsdatan och undersöker bilarnas energiökning. Om en bil är fulladdad ökar antalet bilar som hann bli fulladdade inom laddningsgarantin med ett, annars ökar antalet bilar som inte hann bli fulladdade inom laddningsgarantin med ett.

Antalet bilar som kan bli fulladdade då all tillgänglig energi används beräknas genom att först beräkna fastighetens tillgängliga energi som motsvarar arean under grafen med fastighetens tillgängliga effekt. Därefter delas den tillgängliga energin med en elbils genomsnittliga energibehov per dygn.

## 6.7 Presentera resultat

Här presenteras resultatet från programmet i form av textutskrifter och figurer. De textutskrifter som programmet skriver ut är följande:

- Antalet bilar som hann bli fulladdade inom garantin.
- Antalet bilar som ej hann bli fulladdade inom garantin.
- Den maximala tiden det tog för en bil att bli fulladdad.
- Den maximala totala effekten som användes av bilarna.
- Antalet bilar som garaget kan fulladda då all tillgänglig energi används.

Programmet skapar ett flertal figur där vissa illustrerar resultat medan andra är enbart delmoment för att nå resultaten. De figurer som programmet skapar är följande:

- En normaliserad belastningskurva (figur 5.1).
- Belastningskurvan för fastigheten tillsammans med dess huvudsäkring (figur 5.2).
- Tillgänglig energi och effekt för fastigheten (figur 5.3).
- Antalet inkommande bilar till garaget (figur 5.4).
- Tillgänglig och använd effekt tillsammans med antalet inkommande bilar (figur 7.2).
- Antal bilar och deras energiökning samt laddningstid (figur 7.3).

Figurhänvisningarna illustrerar exempel på dessa figurer för olika fall.

# 7

## Projektering

I det här kapitlet redogörs för projekteringen av laddstolpar i ett av Masthuggets garage. Det garage projekteringen behandlar är garage P8, se tabell 2.1 och 5.2. Detta för att dess storlek lämpar sig för en projektering inom ramen för detta examensarbete, men även för att det var där mätningen av bilflödet skedde vilket innebär att påverkan från eventuella avvikelser av parkeringsmönstret i de andra garagen undviks.

### 7.1 Val av laddstolpe

En av de viktigaste aspekterna i valet av laddstolpe är hur miljömedvetna tillverkarna varit i tillverkningsprocessen. Samtliga tillverkare har majoriteten av deras produktion i Sverige och använder återvinningsbart aluminium för tillverkning av höljet till laddstolpen. Det läggs stort fokus på användning av svenska produkter, komponenter och material vid tillverkningen. Därmed är tillverkarna likvärdiga ur miljösynpunkt.

Skillnaderna på laddstolparna är kommunikationsmetod och laddningseffekten samt kostnad. Laddstolpen från Cacharge är den billigaste, däremot är dess maximala laddningseffekt endast 11 *kW*. Enligt Cacharges bedömning räcker en maximal laddningseffekt på 11 *kW* för att tillgodose bilarnas energibehov. Detta eftersom bilarna ofta står parkerade under långa perioder och har därmed ett lågt energibehov.

Kommunikationen mellan laddstolpe och styrutrustning har två tillverkare löst med hjälp av att kommunicera via elnätet. Detta är en stor fördel då det inte krävs några extra datakablar utan bara extern kommunikationsutrustning i undercentralen. Detta ledde till att laddstolpen från Cacharge valdes med hänsyn på kostnad och kommunikationslösning.

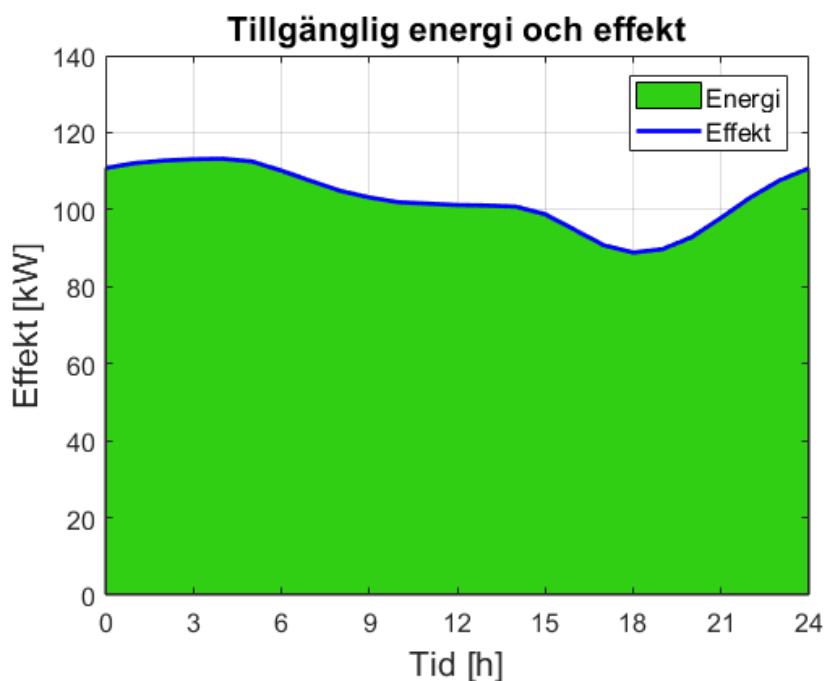
### 7.2 Resultat från programmet

I det här avsnittet presenteras resultatet från programmet då det har applicerats på garage nummer åtta. Värde på de justerbara parametrarna är därmed följande:

- Storlek på fastighetens huvudsäkring: 200 *A*
- Laddstolparnas maxeffekt: 11 *kW*

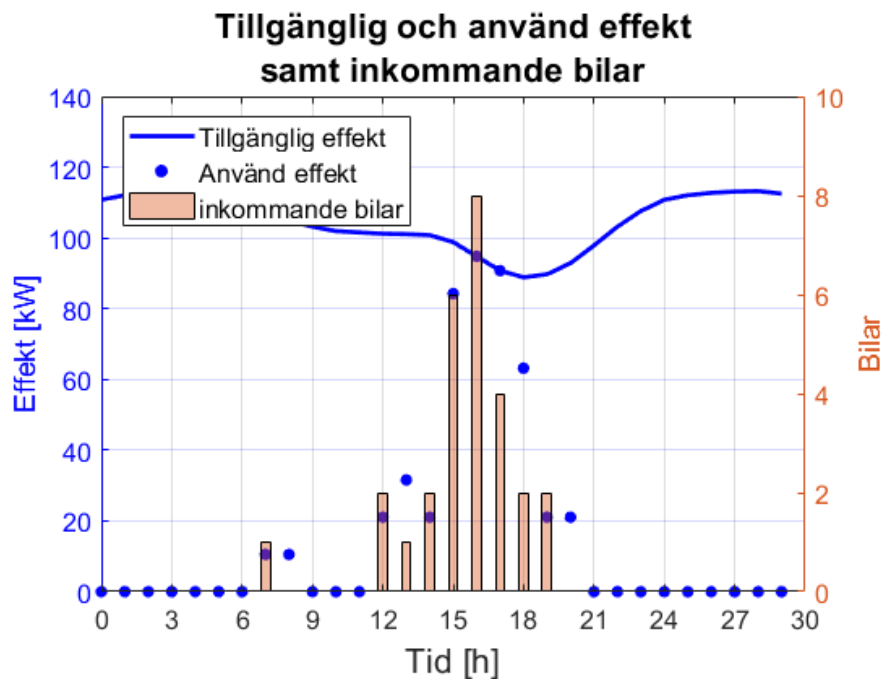
- Minsta strömmen en bil behöver för att ladda: 6 A
- Maximal uppmätt belastning för fastigheten: 65 A
- Andel av bilarna i garaget som är elbilar: 100 %
- Elbilarnas genomsnittliga energibehov per dygn: 5.90 kWh
- Antalet parkeringsplatser i garaget: 97
- Laddningsgarantin: 05:00

Den tillgängliga effekten och energin för fastigheten med garage nummer åtta kan ses i figur 7.1. Från figuren noteras det att det finns oerhört mycket tillgänglig effekt och energi. Orsaken till detta är att fastighetens maximala belastning är ytterst liten i förhållande till dess huvudsäkring.



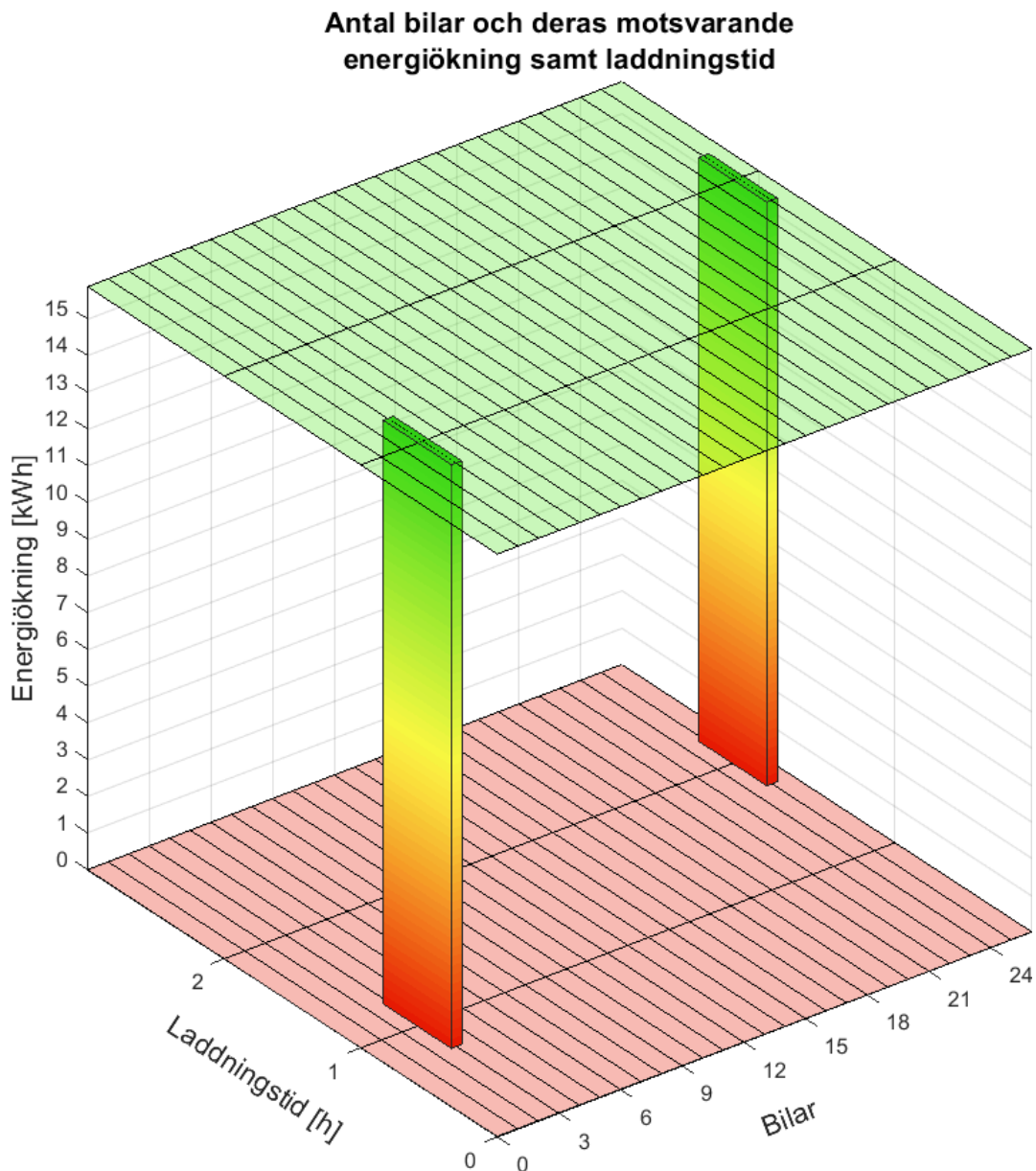
**Figur 7.1:** Tillgänglig effekt och energi för fastigheten med garage P8.

I figur 7.2 visas de inkommande bilarna tillsammans med tillgänglig och använd effekt. Från figuren observeras det att den maximalt använda effekten är inte nödvändigtvis av samma storlek som den maximalt tillgängliga effekten. Detta är för att när den tillgängliga effekten är som störst måste det finnas bilar i garaget som kan nyttja den, vilket inte gäller i det här fallet.



**Figur 7.2:** Tillgänglig och använd effekt samt inkommande bilar för fastigheten med garage P8.

Resultatet från simuleringen av laddningsscenarioet kan ses i figur 7.3. Från figuren noteras det att 3 bilar blev fulladdade på 1 timme och att 25 bilar blev fulladdade på två timmar. Lägg märke till att bilarna har laddats med ungefär  $16 \text{ kWh}$  och inte  $5.90 \text{ kWh}$ . Detta är för att bilarna i garaget förbrukar  $5.90 \text{ kWh}$  per dag i genomsnitt, men eftersom alla bilar inte kör varje dag betyder det att de som faktiskt kör förbrukar mer än  $5.90 \text{ kWh}$  för att genomsnittet ska gälla. I det här fallet blir det omkring  $16 \text{ kWh}$  då endast 34 bilar lämnade garaget.



**Figur 7.3:** Simuleringsresultat för fastigheten med garage P8.

Nedan visas en punktlista av de utskrifter programmet genererar.

- Antalet bilar som hann bli fulladdade inom garantin var 28 stycken.
- Antalet bilar som inte hann bli fulladdade inom garantin var 0 stycken.
- Den maximala tiden det tog för en bil att bli fulladdad var 2 timmar.
- Den maximala totala effekten som användes av bilarna var 94.791 kW.
- Antalet bilar som garaget kan fulladda då energibehovet är 15.90 kW och all tillgänglig energi används är 155 stycken.
- Andelen av den tillgängliga energin som användes var 18 %.

Laddningsgarantin uppfylldes för garage P8 med goda marginaler då den maximala laddningstiden endast var två timmar, vilket inte är konstigt då den tillgängliga energin gav utrymme för att ladda 155 bilar.

### 7.3 Installationsskiss

En ritning över garage P8 har erhållits där placeringen av kablar, laddstolpar och dylikt har skissats i en så kallad installationsskiss. Detta gjordes i Autocad och kan ses i bilaga A.1.

Laddstolparna har placerats på ett sådant sätt att de inte är i vägen för bilarna samt att deras uttag är riktade mot dem för enkel anslutning av laddningskabel. I gruppen av parkeringsplatser placerade längs med väggen är laddstolparna väggmonterade. I de andra två grupperna av parkeringsplatser är de däremot monterade från stolpar i taket. Detta för att undvika att kablar förläggs på eller i marken.

Från undercentralen har tre gruppledningar förlagts för att mata varsitt stråk med laddstolpar, en för varje grupp av parkeringsplatser. Detta innebär att om underhåll behövs på en av ledningarna sätts inte samtliga laddstolpar ur drift. Från gruppledningarna har kablar till laddstolparna förlagts. De är anslutna till gruppledningarna med anslutningsboxar med plats för säkringar.

En transformator och servisledning har också placerats i installationsskissen. Transformatorn matar servisledningen som matar undercentralen. Placering är godtycklig då deras faktiska placering ligger utanför skissens gränser. De är därmed endast inritade för att illustrera nätstrukturen.

### 7.4 Dimensionering av kablar och säkringar

Från simuleringen erhålls den största effekten som fördelades till bilarna och är därför dimensionerande. Gruppledningarna måste därför kunna transmitta den effekten för att ta hänsyn till det fall då all effekt hamnar på endast en ledning. Antalet laddstolpar anslutna till kablarna påverkar inte dimensionen på dem eftersom de dimensioneras endast utefter den maximala belastningen från programmet. Däremot om antalet laddstolpar anslutna till en gruppledning är tillräckligt få så att den maximala totala effekten de kan transmitta är mindre än den maximala belastningen från programmet blir istället antalet laddstolpar dimensionerande. Detta gäller dock inte i det här fallet eftersom om alla laddstolpar laddar med max effekt i den gruppledning med minst antal laddstolpar blir belastningen fortfarande större än den maximala belastningen från programmet. Belastningsströmmen i gruppledningarna blir därför 144 A enligt ekvation 2.3.

$$I_B = \frac{94800}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.95} = 144 \text{ A}$$

Kablarna till laddstolparna behöver kunna transmitta laddstolpens maximala effekt. Eftersom laddstolparna som används är från Ccharge blir den maximala effekten 11 kW och belastningsströmmen i kablarna blir således 17 A enligt ekvation 2.3

$$I_B = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.95} = 17 \text{ A}$$

Säkringar behövs för att skydda kablarna mot överlast och kortslutning. Kablarna till laddstolparna avsäkras därför med dvärgbrytare då de kan återställas efter en brytning för att återuppta normal drift. Gruppledningarna avsäkras däremot med smältsäkringar av typ gG. För att välja rätt storlek på säkringarna används tabell 433:2 samt tabell 433:3 i SS 436 40 00 [16]. Storlekarna som väljs är de närmast över belastningsströmmarna, det vill säga 160 A för gruppledningarna och 20 A för kablarna till laddstolparna. Den minsta tillåtna belastningsförmågan för kablarna med de valda säkringsstorlekarna är därmed enligt samma tabell 177 A för gruppledningarna och 20 A för kablarna till laddstolparna.

Det isolationsmaterial och ledarmaterial som har valts till kablarna är PEX-isolerad koppar. Detta för att PVC-isolering håller på att fasas ut då de avger giftiga gaser om det börjar brinna i kablarna och för att koppar medför en större belastningsförmåga än aluminium.

Gruppledningarna förläggs dels på kabelstegar över de parkeringsplatser som ligger öppet, men för de parkeringsplatser som är placerade längs med en vägg förläggs dem direkt på väggen. Förläggning på stega motsvarar förläggningssätt E (flerledarkabel fritt i luften) och den närmsta motsvarigheten för förläggning direkt mot betongvägg är förläggningssätt C (flerledarkabel på trävägg) enligt tabell 52B.1 i SS 436 40 00 [16].

Det förläggningssätt som blir dimensionerande är förläggningssätt C då belastningsförmågan i det fallet är 179 A medans den i det andra fallet är 192 A. Ingen beräkning på anhopning behövs då avståndet mellan kablarna anses vara tillräckligt stort för att ej påverka belastningsförmågan. Tvärsnittsarean för gruppledningarna blir således 50 mm<sup>2</sup>.

Kablarna till laddstolparna över de parkeringsplatser som ligger öppet förläggs på metallstolpar från taket medans kablarna till de väggmonterade laddstolparna förläggs direkt på väggen. Båda förläggningssätten klassas som förläggningssätt C med belastningsförmågan 22 A och arean 1.5 mm<sup>2</sup> enligt tabell 52B.1 i SS 436 40 00 [16].

Sambandet 2.1  $I_B \leq I_n \leq I_z$  är därmed uppfyllt för båda kabeltyperna.

$$144 \leq 160 \leq 179$$

$$17 \leq 20 \leq 22$$

Även samband 2.2  $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$  är uppfyllt då  $I_2 = 1,6 \cdot I_n$  för smältsäkringarna enligt tabell 433:1 i SS 436 40 00 och  $I_2 = 1,45 \cdot I_n$  för dvärgbrytarna enligt SS-EN 60898 [17].

$$1,6 \cdot 160 \leq 1,45 \cdot 179$$

$$1,45 \cdot 20 \leq 1,45 \cdot 22$$

Spänningsfallet i kablarna får inte överstiga 4 % i förhållande till den nominella spänningen [16]. För att beräkna spänningsfallet måste först kablarnas resistanser och reaktanser beräknas som i sin tur beror på kablarnas längder uppskattade utifrån installationsskissen. Resistansen för gruppleddning nummer ett beräknas med ekvation 2.9

$$R_{grupp1} = 1,68 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{82,6}{50 \cdot 10^{-6}} = 27,8 \text{ m}\Omega$$

och dess reaktans med ekvation 2.10.

$$X_{grupp1} = \tan \varphi \cdot 27,8 \cdot 10^{-3} = 9,1 \text{ m}\Omega$$

Därefter beräknas dess längsspänningsfall med ekvation 2.12

$$U_{längsf,grupp1} = 27,8 \cdot 10^{-3} \cdot 144 \cos \varphi + 9,1 \cdot 10^{-3} \cdot 144 \sin \varphi = 4,21 \text{ V}$$

och dess tvärsänningsfall med ekvation 2.13.

$$U_{tvärf,grupp1} = 9,1 \cdot 10^{-3} \cdot 144 \cos \varphi - 27,8 \cdot 10^{-3} \cdot 144 \sin \varphi \approx 0 \text{ V}$$

Slutligen beräknas huvudspänningsfallet med ekvation 2.14.

$$|\Delta U_{grupp1}| = \sqrt{3} \cdot \sqrt{4,21^2 + 0^2} = 7,30 \text{ V}$$

På samma sätt kan spänningsfallet för de resterande kablarna beräknas. Kablarnas längder, resistanser och reaktanser samt spänningsfall kan ses i tabell 7.1.

**Tabell 7.1:** Kablarnas uppskattade längder samt resultatet av beräkningarna på deras resistans, reaktans och spänningsfall.

Kabel	Längd [m]	Resistans [ $m\Omega$ ]	Reaktans [ $m\Omega$ ]	Spänningsfall [V]
Gruppledning 1	82.6	27.8	9.1	7.30 (1.82 %)
Gruppledning 2	60.6	20.4	6.7	5.36 (1.34 %)
Gruppledning 3	64.3	21.6	7.1	5.67 (1.42 %)
Laddstolpe	2	22.4	7.4	1.20 (0.301 %)

Från tabell 7.1 noteras det att spänningsfallet i samtliga kablar är mindre än 4 % och är därmed godkänt.

För att veta huruvida en säkring löses ut tillräckligt snabbt är det nödvändigt att känna till den maximala tiden dess kabel får utsättas för den största möjliga kortslutningsströmmen, alltså den kortaste bryttiden. Bryttiden för en kabel beror på dess kortslutningsström som beror på kortslutningseffekten i den punkt där kortslutningen sker. Kortslutningseffekten för en viss punkt beror på delkortslutningseffekterna fram tills punkten. Den största kortslutningsströmmen för en kabel uppstår då det blir en trefasig kortslutning direkt efter dess säkring.

Det är därför väsentligt att ha kännedom om delkortslutningseffekterna för transformatorn som matar fastigheten, den inkommande servisledningen samt för den del av gruppledningarna vars avstånd fram tills närmsta säkring är kortast. Detta då det bakomliggande nätet antas vara oändligt stort och har därmed ingen påverkan.

För att kunna beräkna de ovannämnda delkortslutningseffekterna erfordras tillgång till transformatorns relativa kortslutningsimpedans och dess märkeffekt samt servisledningens längd, tvärsnittsarea och ledarmaterial. Då dessa parametrar är okända för denna projektering antas rimliga värden på dem för att exemplifiera hur beräkningen av den kortaste bryttiden går till då parametrarna hade varit kända.

#### Transformator

- Märkeffekt: 800 kVA
- Relativ kortslutningsimpedans: 6 %

#### Servisledning

- Längd: 100 m
- Ledarmaterial: Aluminium
- Ledararea: 240 mm<sup>2</sup>

Med dessa värden kan de sökta delkortslutningseffekterna beräknas. Transformatorns delkortslutningseffekt kan direkt beräknas med ekvation 2.4

$$S_{k,trafo} = \frac{800 \cdot 10^3}{0.06} = 13.3 \text{ MVA}$$

men för servisledningen krävs det att dess impedans och därmed dess resistans och reaktans beräknas först. Resistansen beräknas med ekvation 2.9

$$R_{servis} = 2.65 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{100}{240 \cdot 10^{-6}} = 11.1 \text{ m}\Omega$$

därefter beräknas reaktansen med ekvation 2.10

$$X_{servis} = \tan \varphi \cdot 11.1 \cdot 10^{-3} = 3.63 \text{ m}\Omega$$

och slutligen absolutbeloppet av impedansen med ekvation 2.1.

$$|Z_{servis}| = \sqrt{11.1 \cdot 10^{-32} + 3.63 \cdot 10^{-3}} = 11.6 \text{ m}\Omega$$

Nu kan delkortslutningseffekten för servisledningen beräknas med ekvation 2.5.

$$S_{k,servis} = \frac{400^2}{11.6 \cdot 10^{-3}} = 13.8 \text{ MVA}$$

Om alla kablar till laddstolparna ska avsäkras med samma typ av säkring blir den säkring som är närmast undercentralen dimensionerande. Detta eftersom den del av gruppledningen fram tills säkringen har den kortaste längden vilket resulterar i den största kortslutningsströmmen och därmed den kortaste bryttiden. Längden fram tills den närmsta säkringen uppskattas till 13.1 m utifrån installationsskissen. Därmed kan delkortslutningseffekten för den delen av gruppledningen beräknas med samma metod som ovan. Resultatet av beräkningarna på delkortslutningseffekterna sammanställs i tabell 7.2.

**Tabell 7.2:** Delkortslutningseffekter för transformator, servisledning och den del av gruppledningarna vars avstånd fram tills närmsta säkring är kortast.

Delkortslutningseffekt	[MVA]
$S_{k,trafo}$	13.3
$S_{k,servis}$	13.8
$S_{k,grupp}$	34.6

Utifrån delkortslutningseffekterna fram tills undercentralen kan dess kortslutningseffekt beräknas enligt ekvation 2.6

$$S_{k,central} = \left( \frac{1}{S_{k,trafo}} + \frac{1}{S_{k,servis}} \right)^{-1} = 6.78 \text{ MVA}$$

därefter beräknas kortslutningsströmmen i undercentralen med ekvation 2.7.

$$I_{k,central} = \frac{S_{k,central}}{\sqrt{3} \cdot 400} = 9.79 \text{ kA}$$

och slutligen beräknas bryttiden i undercentralen med ekvation 2.8.

$$t_{central} = \left( \frac{50 \cdot 143}{9.79 \cdot 10^3} \right)^2 = 534 \text{ ms}$$

På samma sätt beräknas kortslutningseffekten, kortslutningsströmmen och bryttiden i punkten där den närmsta anslutningsboxen sitter, alltså i anslutningspunkten mellan gruppledningen och kabeln till den närmsta laddstolpen. Resultatet av beräkningarna på kortslutningseffekterna, kortslutningsströmmarna och bryttiderna sammanställs i tabell 7.3.

**Tabell 7.3:** Resultatet av beräkningarna på kortslutningseffekterna, kortslutningsströmmarna samt bryttiden i undercentralen och i den närmsta anslutningsboxen.

Punkt	Kortslutningseffekt [MVA]	Kortslutningsström [kA]	Bryttid [ms]
Undercentral	6.78	9.79	534
Anslutningsbox	5.66	8.18	0.7

Från tabell 7.3 noteras det att bryttiden för kabeln till närmsta laddstolpe är oerhört kort. Det är därför nödvändigt att välja en tjockare kabel för att få en bryttid längre än dvärgbrytarens utlösningstid. Om en kabel med ledararean  $16 \text{ mm}^2$  väljs blir bryttiden  $78 \text{ ms}$  istället vilket innebär att konventionella dvärgbrytare hinner bryta strömmen innan kabeln tar skada. Företaget Blixt Tech håller dock på att utveckla digitala dvärgbrytare vars utlösningstid är inom  $250 \text{ ns}$  [18]. Om dessa släpps ut på marknaden skulle de kunna användas istället och därmed kan ledararean på kabeln fortfarande vara  $1.5 \text{ mm}$ .

# 8

## Hållbar utveckling

Elbilar laddade med förnybar energi gör det möjligt att minska vårt beroende av förorenande fossila bränslen inom transportsektorn. Sveriges regering har därför som mål att ha en fordonsflotta fri från fossila bränslen år 2030.

För att lyckas med detta behöver Sveriges elproduktion vara helt fossilfri. År 2017 producerades cirka 2 % av Sveriges totala elproduktion med fossila bränslen [20]. Den fossilproducerade elen har minskat väsentligt sedan 90-talet men under samma period har förbränningen av diverse avfall ökat. Avfallsförbränning stod för ett utsläpp på 2.4 miljoner *ton* koldioxidekvivalenter år 2016. Det är ungefär hälften av de totala utsläppen för Sveriges el och fjärrvärmeproduktion [19].

För att regeringen ska uppnå sitt mål behöver de därmed få bort den sista fossilproducerade elen samt material med fossilt ursprung ur avfallsförbränningen. De svenska hushållen har därmed en viktig roll då material med fossilt ursprung behöver källsorteras. Om det inte sker tenderar det att hamna i kraftvärmeverkens pannor vilket leder till fossila utsläpp [19].

Laddstolparnas miljöpåverkan beror huvudsakligen på de långa transportsträckorna av de material och komponenter som används vid tillverkningsprocessen. Det material som används i störst utsträckning är aluminium. Detta för att laddstolpens hölje tillverkas av det. Därför är det viktigt ur miljösynpunkt att aluminium som är förädlad nära Sverige används. Cacharge uppgav att de importerar aluminium från Tjeckien vilket ligger relativt nära med möjligheten att transportera med tåg istället för flyg.

Den största producenten av aluminium är Kina som står för över 50 % av världens aluminiumproduktion [21]. Detta bör dock undvikas på grund av de långa fraktsträckorna. Tänkvärt är också hur den förbrukade energin vid förädlingen av aluminium är producerad. I Kina produceras 64 % av elen med förbränning av kol, vilket inte är miljövänligt [22].

Elbilar laddade med förnyelsebar energi gör det möjligt att ha en fordonsflotta fri från fossila bränslen. Om elbilen laddas med förnyelsebar energi under hela sin livslängd kommer den inte att bidra till några utsläpp av växthusgaser.

Det är viktigt att förnyelsebar energi används under tillverkningen av elbilar. Litiumbatterierna är en av de komponenter som är oerhört energikrävande att producera.

Enligt en rapport som Svenska Miljöinstitutet tagit fram kan en elbil ha släppt ut upp till 20 *ton* koldioxid innan den ens har startat. Rapportern tar hänsyn på batteriets storlek och att 50-70 % av tillverkningsenergin är producerad med fossila bränslen.

Införskaffas det en elbil med ett batteri på 100 *kWh* behöver man enligt beräkningar köra över 10 000 *mil* med en bensin eller diesel bil för att komma upp i samma utsläppsnivå. Ur miljöperspektiv är det därför viktigt att köpa en elbil vars batteristorlek är lämplig för bilens dagliga körsträcka [23].

# 9

## Diskussion

Det var tänkt att programmet skulle beräkna det kritiska värdet på huvudsäkring-  
en, alltså det värde vilket medför att laddningsgarantin precis är uppfylld. Detta  
visade sig vara betydligt svårare än väntat. Tanken var att hitta ett samband mel-  
lan storleken på huvudsäkring och den totala energimängden som saknades och  
utifrån detta beräkna hur mycket större säkring som krävdes. Genom att testa olika  
värden på huvudsäkring och beräkna energin som saknades framgick det att sam-  
bandet mellan dessa ej var linjärt, vilket gjorde det oerhört komplicerat att beräkna  
det kritiska värdet.

Då det kritiska värdet var av stort intresse användes istället en alternativ metod för  
att erhålla detta. Värdet på huvudsäkring justerades manuellt upp eller ner efter  
varje körning av programmet beroende på huruvida laddningsgarantin var uppfylld  
eller ej. Processen upprepades tills dess att det kritiska värdet var bestämt i den  
noggrannhetsgrad som eftersträvades.

Antalet laddningspunkter bör vara lika med antalet elbilar. Annars finns risken att  
det inte finns lediga laddningspunkter för de bilar som behöver laddas. Detta reso-  
nemang baseras på antagandet att bilarna står kvar på parkeringsplatserna trots att  
de är fulladdade. Det är orimligt att förvänta sig att ägarna till bilarna ska manuellt  
flytta dem till parkeringsplatser utan laddstolpar precis efter de har blivit fulladdade.

Däremot om detta skulle ske innebär det att antalet laddningspunkter behöver en-  
dast motsvara det maximala antalet bilar som laddas samtidigt, vilket skulle minska  
kostnaden då antalet laddstolpar minskar. Ett sätt att uppnå detta kan vara med  
hjälp av självkörande bilar där ett automatiskt system kopplar ur dem när de är  
fulladdade. Därefter körs de iväg till parkeringsplatser utan laddstolpar och frigör  
därmed laddstolpar till nya inkommande elbilar. Slutligen notifieras ägarna om att  
deras bil är fulladdad och vart den står parkerad.

Enligt Svensk Elstandard ska sammanlagringsfaktorn 1 alltid användas vid dimen-  
sionering av anläggningar med laddstolpar. Från simuleringen var den högsta ladd-  
ningseffekten  $94 \text{ kW}$  då anläggning bestod av 97 laddningspunkter. Om sammanlag-  
ringsfaktorn 1 används innebär det att dimensionering sker utifrån fallet då samtliga  
laddstolpar används samtidigt med deras maximala effekt. Det leder till en total ef-  
fekt på ungefär  $1\,000 \text{ kW}$  och en ström på cirka  $1500 \text{ A}$ . Om dimensioneringen sker  
på det viset leder det till att en anläggning på 97 laddningspunkter kräver att det  
förläggs tre nya  $240 \text{ mm}^2$  serviser vilket är orimligt.

Mätningen av bilflödet skedde endast mellan timmarna 4:00-20:00 under ett dygn vilket innebär att mätdatan inte är tillräcklig för att motsvara en noggrann representation av bilflödet i garaget. Det optimala fallet vore ifall mätningen skedde för samtliga timmar under dygnet över en längre period, exempelvis ett år. Då kan det genomsnittliga bilflödet för ett dygn beräknas och därmed erhålls en noggrann representation av bilflödet i garaget. Men eftersom det var brist på tid och resurser var detta inte möjligt och den korta mätningen fick därmed duga. Resultatet från programmet kan därför endast ses som en grov uppskattning.

Det visade sig att verksamheterna för de olika fastigheterna skiljde sig åt i viss utsträckning. Det är därför inte helt legitimt att applicera data från en fastighet på en annan genom att skala om denna. Det bästa möjliga vore om det istället fanns data för varje enskild fastighet. Då gör det ingenting om verksamheterna inte är likartade eftersom principen med omskalning inte längre är aktuell.

# 10

## Slutsats

Problemet med en storskalig installation av laddstolpar är de höga effekttoppar som uppstår vid laddning och riskerar därför att lösa ut huvudsäkring. Lösningen på detta är att använda lastbalansering för att styra ner strömmen till laddstolparna vid överlast. Därmed är det alltid möjligt att ladda elbilar oavsett storleken på huvudsäkring.

Den laddstolpe som valdes var Cacharges så kallade laddbox. Valet föll på Cacharge då de hade en bra lösning på kommunikationen mellan laddstolpe och styrenhet, samt möjlighet till att transmitta en låg laddeffekt på 1.4 kW. Detta innebär att den tillgängliga effekten kan fördelas på ett större antal bilar.

Ett program vars huvudfunktion är att simulera ett laddningsscenario baserat på diverse indata utvecklades i Matlab. Programmet uppfyller samtliga förväntningar utom en, beräkna det kritiska värdet på huvudsäkring. Denna parameter fick istället tas fram manuellt genom att justera värdet på huvudsäkring tills dess att laddningsgarantin precis uppfylldes.

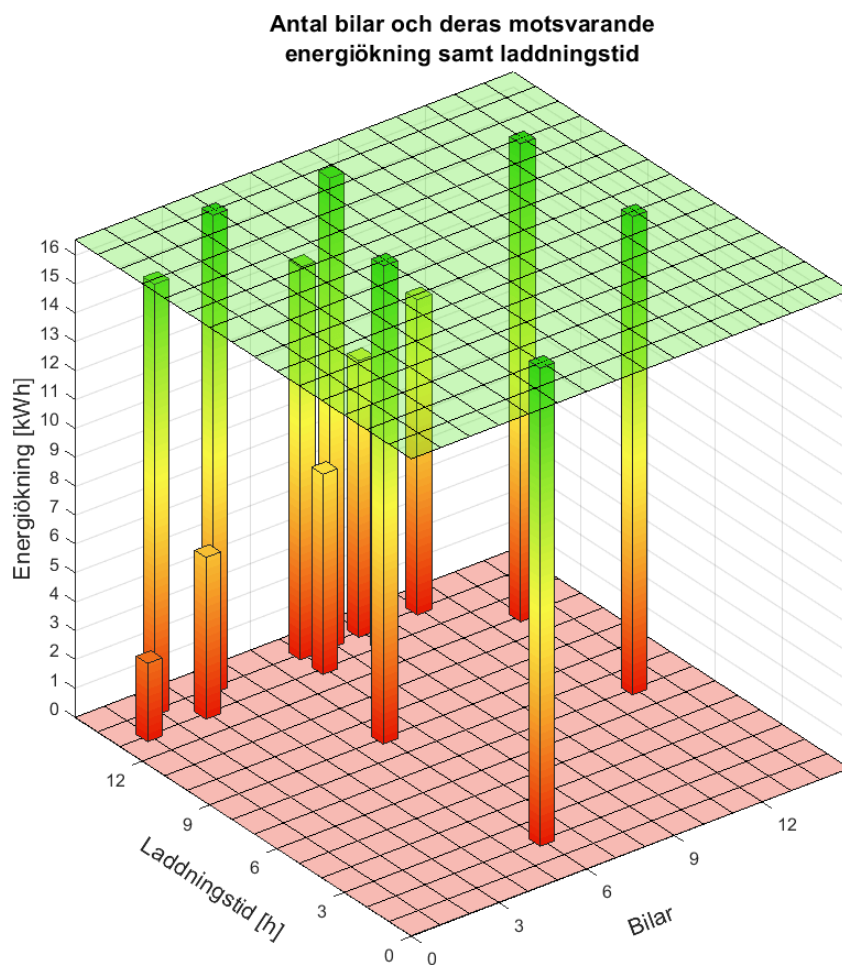
En projektering av laddstolpar genomfördes på garage P8. Då den tillgängliga effekten och energin för fastigheten var mycket hög uppfylldes laddningsgarantin med god marginal. Inkommande servisledningar behövde därmed inte uppgraderas.

Programmet har applicerats på samtliga garage för att se vilka som uppfyller laddningsgarantin. Det kritiska värdet på garagens olika huvudsäkringar har fastställts för att veta hur mycket under- eller överdimensionerad de är. Detta kan ses i tabell 10.1 där värdena inom parentes visar hur mycket huvudsäkring behöver öka eller minska för att nå det kritiska värdet.

**Tabell 10.1:** Status på laddningsgarantin för samtliga garage samt det kritiska värdet på deras huvudsäkringar.

Garage	Uppfylld garanti	Kritiskt värde [A]
P1	Nej	406 (+156)
P3	Ja	96 (-36)
P4	Nej	132 (+6)
P5	Ja	140 (-60)
P6	Nej	166 (+41)
P7	Ja	133 (-182)
P8	Ja	85 (-115)
P9	Ja	99 (-26)
P10	Nej	142 (+17)

Från tabell 10.1 noteras det att huvudsäkring för garage P8 skulle kunna sänkas med 26 A och laddningsgarantin skulle fortfarande vara uppfylld. Garage P1 är det garage vars inkommande servis behöver uppgraderas som mest, nämligen 156 A. För att illustrera i vilken utsträckning garaget kan ladda elbilar med dess nuvarande servis visas därför dess simuleringsresultat i figur 10.1.



**Figur 10.1:** Simuleringsresultat för fastigheten med garage P1.

# Litteraturförteckning

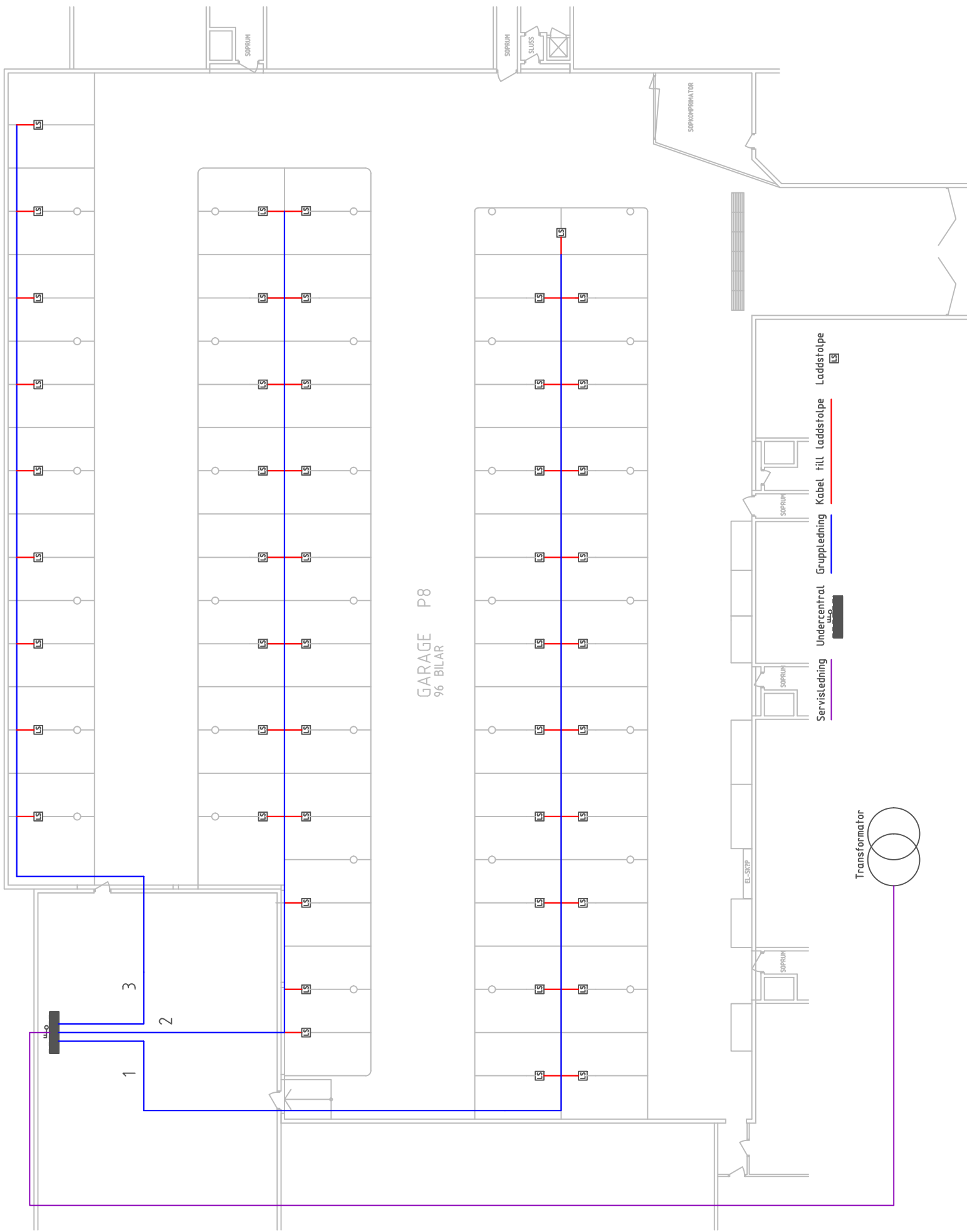
- [1] Regeringen.se. (2019). [online] Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/49bba8/contentassets/1a31cd2fbd3f4352b71bba3afee91f63/fossiloberoende-fordonsflotta—ett-steg-pa-vagen-mot-nettonollutslapp-av-vaxthusgaser-dir.-201278> [Hämtad 2 Juni 2019].
- [2] Dahlberg, P. (2019). Kraftig ökning av laddbara bilar under 2018. [online] Elbil Sverige. Tillgänglig: <http://www.elbilsverige.se/2019/01/02/kraftig-okning-av-laddbara-bilar-under-2018/> [Hämtad 2 Juni 2019].
- [3] Ny Teknik. (2019). Ny statistik: Laddbara bilar bara en bråkdel av svenska fordonsflottan. [online] Tillgänglig: <https://www.nyteknik.se/fordon/ny-statistik-laddbara-bilar-bara-en-brakdel-av-svenska-fordonsflottan-6899080> [Hämtad 2 Juni 2019].
- [4] SEK Handbok 458 - Laddning av elfordon. (2019). Utgåva 1. Kista: SEK Svensk Elstandard.
- [5] Chargestorm. (2019). NanoGrid - lastbalansering för elbilar och laddhybrider [online] Tillgänglig: <https://chargestorm.se/laddstationslosningar/lastbalansering/> [Hämtad 21 Maj 2019].
- [6] Chargestorm. (2019). EVA laddbox för elbilar [online] Tillgänglig: <https://chargestorm.se/produkter/eva-laddbox/> [Hämtad 20 Maj 2019].
- [7] Chargestorm. (2019). Våra laddboxar och laddstationer [online] Tillgänglig: <https://chargestorm.se/produkter/> [Hämtad 25 Maj 2019].
- [8] Chargestorm. (2019). Laddstation CSR100 för elbilar [online] Tillgänglig: <https://chargestorm.se/produkter/laddstation-csr100/> [Hämtad 21 Maj 2019].
- [9] Cacharge.com. (2019). CaCharge's laddbox [online] Tillgänglig: <https://cacharge.com/laddbox/> [Hämtad 21 Maj 2019].
- [10] Cacharge.com. (2019). CaCharge's lösning [online] Tillgänglig: <https://cacharge.com/losning/> [Hämtad 21 Maj 2019].
- [11] Cacharge.com. (2019). [online] Tillgänglig: <https://cacharge.com/wp-content/uploads/2019/05/CaCharge/Produktblad/Laddbox/rev190304.pdf> [Hämtad 25 Maj 2019].
- [12] Eldon Installation. (2019). ECO ONE, VÄGG-HÄNGD - Eldon Installation. [online] Tillgänglig: <https://www.eldoninstallation.se/produkter/laddstationer/eco-one-vagghangd/> [Hämtad 25 Maj 2019].

- [13] EV Database. (2019). EV Database. [online] Tillgänglig: <https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car> [Hämtad 21 Maj 2019].
- [14] Elbilsstatistik. (2019). Elbilsstatistik. [online] Tillgänglig: <https://www.elbilsstatistik.se/elbilsstatistik> [Hämtad 21 Maj 2019].
- [15] Trafa.se. (2019). Körsträckor. [online] Tillgänglig: <https://www.trafa.se/vagtrafik/korstrackor/> [Hämtad 21 Maj 2019].
- [16] SEK Handbok 444 - Elinstallationsreglerna - SS 436 40 00, utgåva 3, med kommentarer. (2017). Kista: SEK Svensk Elstandard.
- [17] SS-EN 60898-1, utgåva 1 - Installationsdvärgbrytare - Dvärgbrytare för överströmsskydd för bostadsinstallationer och liknande - Del 1: Dvärgbrytare för växelström.
- [18] Elinstallatören. (2019). Blixtsnabb digital brytare blev årets innovation. [online] Tillgänglig: <https://www.elinstallatoren.se/innehall/nyheter/2019/mars/blixtsnabb-digital-brytare-blev-arets-innovation/> [Hämtad 1 Juni 2019].
- [19] Energiforetagen.se. (2019). Energiåret - Energiföretagen Sverige. [online] Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/statistik/energiaret/> [Hämtad 30 Maj 2019].
- [20] Energiforetagen.se. (2019). Elproduktion. [online] Tillgänglig: <https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/energiaret2017/elproduktion/vers180704.pdf?v=roFaUkzJ0YPsRpp2yIrNswkKIfc> [Hämtad 30 Maj 2019].
- [21] Prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com. (2019). Mineral Commodity Summaries. [online] Tillgänglig: <https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019all.pdf> [Hämtad 30 Maj 2019].
- [22] S. Göss, M. Duvoort, J. Braun and D. Hillig, "China's renewable energy revolution continues its long march", Energy Post, 2019. [Online] Tillgänglig: <https://energypost.eu/chinas-renewable-energy-revolution-continues-long-march/> [Hämtad 30 Maj 2019].
- [23] L. Dahllöf, M. Romare and M. Larsson, Ny rapport belyser klimatpåverkan från produktionen av elbilsbatterier", Ivl.se, 2019. [Online] Tillgänglig: <https://www.ivl.se/toppmeny/pressrum/pressmeddelanden/pressmeddelande-arkiv/2017-05-29-ny-rapport-belyser-klimatpaverkan-fran-produktionen-av-elbilsbatterier.html> [Hämtad 30 Maj 2019].

# A

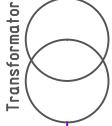
## Bilagor

### A.1 Installationskiss



GARAGE P8  
96 BILAR

- Servisledning
- Undercentral
- Gruppledning
- Kabel fill laddstolpe
- Laddstolpe



## A.2 Matlab kod

---

## Table of Contents

.....	1
Definiera konstanter och variabler .....	1
Importerera data .....	2
Anpassa importerad data för simulering .....	2
Simulera laddningsscenario .....	3
Anpassa charging_data för att presenteras grafiskt .....	6
Beräkna resultat .....	7
Presentera resultat .....	7

```
clear variables
clf
clc
```

## Definiera konstanter och variabler

```
cos_phi = 0.95; % effektfaktor
fuse = 250; % storlek på fastighetens huvudsäkring [A]
min_current = 6; % minsta strömmen en bil kan laddas med [A]
load_capacity = 16; % laddstolparnas belastningsförmåga [A]
max_load = 186; % maximal belastning för fastigheten [A]
ev_percentage = 1; % andel av bilarna som är elbilar
energy_need = 5.9; % elbilens genomsnittliga energibehov per dygn
    [kWh]
garage_size = 676; % antalet parkeringsplatser i garaget
guarantee = 5; % tid då bilarna som började ladda dagen innan ska vara
    fulladdade [h]
p_fuse = sqrt(3)*400*fuse*cos_phi/1000; % storlek på fastighetens
    huvudsäkring [kW]
p_min = min_current*sqrt(3)*400*cos_phi/(3*1000); % minsta effekten en
    bil kan laddas med [kW]
p_max = load_capacity*sqrt(3)*400*cos_phi/(1000); % största effekten
    en bil kan laddas med [kW]
p_cars = 0; % effekten som tilldelas till bilarna som laddas [kW]
p_max_load = max_load*400*sqrt(3)*cos_phi/1000; % maximal belastning
    för fastigheten [kW]
boolean_p_low = 0; % sann om p_cars < p_min
cars_charging = 0; % antal bilar som laddas
cars_charging_p_low = 0; % antal bilar som laddas då p_cars < p_min
fully_charged_cars = 0; % antal bilar som hann bli fulladdade inom
    garantin
not_fully_charged_cars = 0; % antal bilar som inte hann bli fulladdade
    inom garantin
e_used = 0; % energi som har använts
total_leaving_vehicles = 0; % totala antalet utgående bilar
time = 0:1:48; % tidpunkter för två dygn [h]
charging_data = double.empty; % kolumn 1 visar energin som bilarna har
    laddats med [kWh],
                                % kolumn 2 hur länge de har laddats [h]
och
```

---

```
                                % kolumn 3 vilka av bilarna som omfattas
av laddningsgarantin
```

## Importera data

```
substation_data = importdata('Mätvärden.xlsx'); % importera
effektbelastningsdata från en nätstation i Masthugget
t1 = substation_data.data.EnStationIMasthugget(:,1); %
effektbelastningsdata från transformator 1 i nätstationen
t2 = substation_data.data.EnStationIMasthugget(:,2); %
effektbelastningsdata från transformator 2 i nätstationen
incoming_vehicles_data = importdata('Incoming_vehicles.txt'); %
importera antal inkommande bilar vid olika tidpunkter
incoming_vehicles = incoming_vehicles_data(:,1); % antal inkommande
bilar vid olika tidpunkter
incoming_ev = round(incoming_vehicles_data(:,1)*ev_percentage); %
antal inkommande elbilar vid olika tidpunkter
incoming_ev(25,1) = incoming_ev(1,1); % sätt antal inkommande elbilar
vid 24:00 = antal inkommande bilar vid 00:00
incoming_ev(25:49,1) = incoming_ev(1:25,1); % förläng incoming_ev så
den omfattar två dygn
leaving_vehicles_data = importdata('Leaving_vehicles.txt'); %
importera antal utgående bilar vid olika tidpunkter
leaving_vehicles = leaving_vehicles_data(:,1); % antal utgående bilar
vid olika tidpunkter
leaving_vehicles(25,1) = leaving_vehicles(1,1); % sätt antal utgående
elbilar vid 24:00 = antal utgående bilar vid 00:00
leaving_vehicles(25:49,1) = leaving_vehicles(1:25,1); % förläng
leaving_vehicles så den omfattar två dygn
vehicle_flow = cat(2,leaving_vehicles,incoming_ev); % flödet av bilar
colormap_data = importdata('Colormap.txt'); % importera colormap data
```

## Anpassa importerad data för simulering

```
% genomsnittlig effektbelastning
t_average = (t1 + t2)/2; % medelvärdet av effektbelastningsdatan från
transformator 1 och 2
for i = 1:24 % alla timmar på dygnet
    p_sum = 0; % summan av effekterna för alla dagar för en viss timme
    for j = 0:59 % alla dagar som mätvärdena omfattas av
        p_sum = p_sum + t_average(i + j*24,1); % summan av effekterna för
dag j och timme i
    end
    average_loadcurve(i,1) = p_sum/59; % genomsnittlig effektbelastning
vid olika tidpunkter över ett dygn
end
average_loadcurve(25,1) = average_loadcurve(1,1); % sätt
effektbelastningen vid 24:00 = effektbelastningen vid 00:00
average_loadcurve(25:49,1) = average_loadcurve(1:25,1); % förläng
average_loadcurve så den omfattar två dygn

% fastighetens effektbelastning
```

---

```

for i = 1:49 % alla timmar på två dygn
    normalized_loadcurve(i,1) = average_loadcurve(i,1)/
max(average_loadcurve); % typkurva för effektbelastning
    p_building(i,1) = normalized_loadcurve(i,1)*p_max_load; %
    fastighetens momentana effektbelastning [kW]
end

% fastighetens tillgängliga effekt
for i = 1:49 % alla timmar på två dygn
    p_available(i,1) = p_fuse - p_building(i,1); % fastighetens momentana
    tillgängliga effekt [kW]
    if p_available(i,1) < 0 % om tillgänglig effekt är negativ
        p_available(i,1) = 0; % sätt tillgänglig effekt lika med 0
    end
end

% Garagets flöde av bilar
for i = 1:49 % alla timmar på två dygn
    vehicle_flow_ratio(i,1) = vehicle_flow(i,1)/97; % utgående bilar i
    förhållande till garagets storlek där mätningen skedde
        vehicle_flow_ratio(i,2) = vehicle_flow(i,2)/97; % inkommande bilar
    i förhållande till garagets storlek där mätningen skedde
    vehicle_flow(i,1) = floor(vehicle_flow_ratio(i,1)*garage_size); % %
    utgående bilar omskalad med garagets storlek
        vehicle_flow(i,2) = floor(vehicle_flow_ratio(i,2)*garage_size); %
    inkommande bilar omskalad med garagets storlek
end

% omräkna energibehovet för att genomsnittet i garaget ska vara 5.9
    kWh
n = 0; % nollställ räknare
while n < 25
    n = n + 1; % öka räknare med 1
    total_leaving_vehicles = total_leaving_vehicles +
    vehicle_flow(n,1); % totala antalet utgående bilar
end
energy_need = energy_need*garage_size/total_leaving_vehicles; % räkna
    om energibehovet

```

## Simulera laddningsscenario

```

for i = 1:25 + guarantee % timmarna garantin omfattar
    n = 0; % nollställ räknare
    % uppdatera antalet timmar bilarna har laddats
    while n < size(charging_data,1) % gå igenom alla rader i
    charging_data
        n = n + 1; % öka räknare med 1
        if isnan(charging_data(n,1)) == 0 % om bilen på rad n inte är
    fulladdad
            charging_data(n,2) = charging_data(n,2) + 1; % öka antalet
    timmar med 1
        end
    end
end

```

---

```

    % skapa plats längst ner i charging_data för energin i nya bilar
    som laddas
    charging_data(size(charging_data,1) + 1:size(charging_data,1) +
    vehicle_flow(i,2),2) = 0;
    if i <= 25
        % markera de inkommande bilarna under dygnet med 1
        charging_data(1:size(charging_data,1),3) = 1;
    end
    n = 0; % nollställ räknare
    energy_missing = 0; % nollställ energin som saknas
    % uppdatera energin i bilarna som kom in förra iterationen då
    p_cars > p_min
    while n < size(charging_data,1) - vehicle_flow(i,2) &&
    boolean_p_low == 0
        n = n + 1; % öka räknare med ett
        if energy_need - charging_data(n,1) < p_cars % om effekten till
        bilarna överskrider energin som saknas
            energy_missing = energy_missing + energy_need -
            charging_data(n,1); % uppdatera energin som saknas
            if cars_charging > 0 % om antal bilar som laddas är större
            än noll
                cars_charging = cars_charging - 1; % minska antal bilar
                som laddas med 1
                if cars_charging ~= 0 % om antal bilar som laddas inte
                är noll
                    p_cars = (p_available(i-1,1) - energy_missing)/
                    cars_charging; % uppdatera effekten till bilarna
                end
                charging_data(n,1) = NaN; % markera fulladdad bil med
                NaN
            end
        else
            charging_data(n,1) = charging_data(n,1) + p_cars; %
            uppdatera energin i alla bilar som laddas
        end
    end
    % uppdatera energin i bilarna som kom in förra iterationen då
    p_cars < p_min med hänsyn till de bilar som får vänta
    while n < size(charging_data,1) - vehicle_flow(i,2) -
    (cars_charging - cars_charging_p_low) && boolean_p_low == 1
        n = n + 1;
        if energy_need - charging_data(n,1) < p_cars % om effekten
        till bilarna överskrider energin som saknas
            energy_missing = energy_missing + energy_need -
            charging_data(n,1); % uppdatera energin som saknas
            if cars_charging > 0 % om antal bilar som laddas är större
            än 0
                cars_charging = cars_charging - 1; % minska antal bilar
                som laddas med 1
                if cars_charging_p_low > 1 % om antal bilar som laddas
                då p_cars < p_min är större än 1
                    cars_charging_p_low = cars_charging_p_low - 1; %
                    minska antal bilar som laddas med 1 då p_cars < p_min
                end
            end
        end
    end

```

---

---

```

        p_cars = (p_available(i-1,1) - energy_missing)/
cars_charging_p_low; % uppdatera effekten till bilarna
        charging_data(n,1) = NaN; % markera fulladdad bil med
NaN
    end
    else
        charging_data(n,1) = charging_data(n,1) + p_cars; %
uppdatera energin i alla bilar som laddas
    end
end
cars_charging = cars_charging + vehicle_flow(i,2); % uppdatera antal
bilar som laddas
    if cars_charging == 0 % specialfall då cars_charging == 0 för att
undvika att dela med 0
        p_cars = 0;
    else
        p_cars = p_available(i,1)/cars_charging; % effekt som tilldelas
de bilar som laddas
    end
    if p_cars > p_max % om effekten överstiger max effekten en bil kan
laddas med
        p_cars = p_max; % sätt effekten lika med max effekten
    end
    if p_cars < p_min && p_cars > 0 % om effekten är mindre än den
minsta effekt en bil kan laddas med
        cars_charging_p_low = floor(p_available(i,1)/p_min); % antal
bilar som laddas då p_cars < p_min
        if cars_charging_p_low ~= 0 % specialfall då
cars_charging_p_low == 0 för att undvika dela med 0
            p_cars = p_available(i,1)/cars_charging_p_low; % %
uppdatera effekten till bilarna
            boolean_p_low = 1; % sätt p_cars < p_min till sann
        else
            p_cars = 0;
        end
    else
        boolean_p_low = 0; % annars, sätt p_cars < p_min till falsk
    end
    if boolean_p_low == 1 % om p_cars < p_min är sant
        % total effekt bilarna förbrukar då tillgänglig effekt inte
räcker för att ladda alla bilar
        p_used(i,1) = p_cars*floor(p_available(i,1)/p_min);
    else
        % total effekt bilarna förbrukar då tillgänglig effekt räcker för
att ladda alla bilar
        p_used(i,1) = p_cars*cars_charging;
    end
end
end

```

---

---

## Anpassa charging\_data för att presenteras grafiskt

```
% Omvandla NaN till energy_need
n = 0; % nollställ räknare
while n < size(charging_data,1) % gå igenom alla rader i charging_data
    n = n + 1; % öka räknare med 1
    if isnan(charging_data(n,1)) == 1 % om elementet i charging_data på
        rad n kolumn 1 är NaN
        charging_data(n,1) = energy_need; % omvandla NaN till energy_need
    end
end
simulation_result = zeros(max(charging_data(:,2)),1); % ange storlek
    på results som innehåller den ombehandlade datan från charging_data
n = 1; % räknare för rader
negative_offset = 1; % negativ offset till n
% gå igenom alla rader så länge som datan tillhör en bil som omfattas
    av garantin
while n <= size(charging_data,1) && charging_data(n,3) == 1
    positive_offset = 1; % positiv offset till n
    identical_data = 1; % räknare för antal identisk data i charging_data
        % gå igenom alla rader förutom rad 1 så länge som datan tillhör en
        bil som omfattas av garantin
        while n + positive_offset <= size(charging_data,1) &&
            charging_data(n + positive_offset,3) == 1
            % om nuvarande rad är identiskt med offsetad rad
            if charging_data(n,1) == charging_data(n + positive_offset,1)
                && charging_data(n,2) == charging_data(n + positive_offset,2)
                    identical_data = identical_data + 1; % öka identical_data
                end
            end
            positive_offset = positive_offset + 1; % öka
            positive_offset med 1
        end
        if n == 1 % specialfall för första iterationen
            % tilldella energi till results där rad motsvarar antal
            laddade timmar och kolumn motsvarar antal bilar
            simulation_result(charging_data(n,2),identical_data) =
                charging_data(n,1);
            % om datan på rad n - negative_offset inte är identisk med datan
            på rad n
            elseif charging_data(n - negative_offset,2) ~= charging_data(n,2) |
                charging_data(n - negative_offset,1) ~= charging_data(n,1)
                negative_offset = 0; % nollställ negativ offset till n
                if charging_data(n,1) ~= 0 % om datan på rad n och kolumn 1 i
                charging_data inte är 0
                    if simulation_result(charging_data(n -
                        negative_offset,2),:) ~= charging_data(n,1)
                        % tilldella energi till results där rad motsvarar
                        antal laddade timmar och kolumn motsvarar antal bilar
```

---

```

        simulation_result(charging_data(n,2),identical_data) =
charging_data(n,1);
        end
    end
else
    negative_offset = negative_offset + 1; % öka negativ offset till
n med 1
end
n = n + 1; % öka räknare för rader med 1
end

```

## Beräkna resultat

```

max_charge_time = max(charging_data(1:size(charging_data),2)); %
    maximala laddningstiden
max_p_used = max(p_used); % maximal använd effekt
e_available = trapz(p_available(1:25,1)); % fastighetens tillgängliga
    energi
% beräkna antal fulladdade och icka fulladdade bilar inom garantin
n = 0; % nollställ räknare
while n < size(charging_data,1) % gå igenom alla rader i charging_data
    n = n + 1; % öka räknare med 1
    if charging_data(n,1) == energy_need && charging_data(n,3) == 1 % om
en bil är fulladdad och omfattas av garantin
        fully_charged_cars = fully_charged_cars + 1; % öka antal bilar
som hann bli fulladdade 1
    end
    if charging_data(n,1) ~= energy_need && charging_data(n,3) == 1 % om
en bil inte är fulladdad och omfattas av garantin
        not_fully_charged_cars = not_fully_charged_cars + 1; % öka antal
bilar som inte hann bli fulladdade 1
    end
end

% Beräkna andelen av den tillgängliga energin som användes
n = 0; % nollställ räknare
while n < size(charging_data,1) % gå igenom alla rader i charging_data
    n = n + 1; % öka räknare med 1
    e_used = e_used + charging_data(n,1); % beräkna använd energi
end
e_percentage = e_used/e_available*100; % procent av den tillgängliga
    energin som har använts

```

## Presentera resultat

```

% Utskrift av resultat
fprintf('Antalet bilar som hann bli fulladdade inom garantin var %.f
    stycken.\n',fully_charged_cars);
fprintf('Antalet bilar som inte hann bli fulladdade inom garantin var
    %.f stycken.\n',not_fully_charged_cars);
fprintf('Den maximala tiden det tog för en bil att bli fulladdad var
    %.f timmar.\n',max_charge_time);

```

---

```

fprintf('Den maximala totala effekten som användes av bilarna var %.3f
kW.\n',max_p_used);
fprintf('Antalet bilar som garaget kan fulladda då det dagliga
energibehovet är %.2f kW och all tillgänglig energi används är %.f
stycken.\n',energy_need,e_available/energy_need);
fprintf('Andelen av den tillgängliga energin som användes var %.f %%
\n',e_percentage);

% Figur 1 Normaliserad belastningskurva
figure(1)
plot(time(1,1:25),normalized_loadcurve(1:25,1),'color',[0, 0,
1],'LineWidth',2)
axis = gca;
axis.FontSize = 12;
title('Normaliserad belastningskurva','FontSize',16')
xlabel('Tid [h]','FontSize',16')
ylabel('Normaliserad effekt','FontSize',16)
xlim([0 24])
xticks(0:3:24)
grid on

% Figur 2 Belastningskurva och huvudsäkring
figure(2)
plot(time(1,1:25),p_building(1:25,1),'color',[0, 0, 1],'LineWidth',2)
hold on
fuse_line =line([0,24],[p_fuse,p_fuse],'color','r','LineWidth',2);
plot(time(1,1:24),fuse_line)
axis = gca;
axis.FontSize = 12;
title('Belastningskurva och huvudsäkring','FontSize',16')
legend({'Belastning','Huvudsäkring'],'FontSize',12,'Location','southeast')
xlabel('Tid [h]','FontSize',16')
ylabel('Effekt [kW]','FontSize',16)
xlim([0 24])
ylim([0 ceil(p_fuse/10)*10])
xticks(0:3:24)
grid on

% Figur 3 Tillgänglig energi och effekt
figure(3)
area(time(1,1:25),p_available(1:25,1),'FaceColor',[0.19 0.81 0.08])
hold on
plot(time(1,1:25),p_available(1:25,1),'color',[0, 0, 1],'LineWidth',2)
axis = gca;
axis.FontSize = 12;
title('Tillgänglig energi och effekt','FontSize',16')
legend({'Energi','Effekt'],'FontSize',12,'Location','northeast')
xlabel('Tid [h]','FontSize',16')
ylabel('Effekt [kW]','FontSize',16)
xlim([0 24])
ylim([0 ceil(p_fuse/10)*10])
xticks(0:3:24)
grid on

```

---

---

```

% Figur 4 Inkommande och utgående bilar
figure(4)
bar(time(1,1:24),vehicle_flow(1:24,1:2),1)
axis = gca;
axis.FontSize = 12;
title('Inkommande och utgående bilar','FontSize',16')
legend({'Utgående bilar','Inkommande
  bilar'},'FontSize',12,'Location','northeast')
xlabel('Tid [h]','FontSize',16')
ylabel('Bilar','FontSize',16)
xlim([4 20])
ylim([0 ceil(max(vehicle_flow(:,2))/10)*10])
xticks(4:2:20)
alpha(0.4)
grid on

% Figur 5 Tillgänglig och använd effekt samt inkommande bilar
fig = figure(5);
left_color = [0, 0, 1];
right_color = [0.85 0.325 0.098];
set(fig,'defaultAxesColorOrder',[left_color; right_color]);
yyaxis right
bar(time(1,1:25 + guarantee),vehicle_flow(1:25 + guarantee,2),0.4)
ylabel('Bilar','FontSize',16)
ylim([0 ceil(max(vehicle_flow(:,2))/10)*10])
alpha(0.4)
yyaxis left
plot(time(1,1:25 + guarantee),p_available(1:25 +
  guarantee,1),'LineWidth',2)
hold on
scatter(time(1,1:25 + guarantee),p_used(1:25 +
  guarantee,1),30,'filled')
ylabel('Effekt [kW]','FontSize',16)
ylim([0 ceil(p_fuse/10)*10])
xlim([0 30])
xticks(0:3:30)
axis = gca;
axis.FontSize = 12;
title({'Tillgänglig och använd effekt', 'samt inkommande
  bilar'},'FontSize',16')
legend({'Tillgänglig effekt','Använd effekt','inkommande
  bilar'},'FontSize',12,'Location','northwest')
xlabel('Tid [h]','FontSize',16')
grid on

% Figur 6 Antal bilar och deras energiökning samt laddningstid
figure(6)
x = 0:1:size(simulation_result,2) + 1;
y = 0:1:size(simulation_result,1) + 1;
[X,Y] = meshgrid(x,y);
Z_roof = 0*X + energy_need - 0.02;
h = mesh(X,Y,Z_roof);
set(h,'edgecolor',[0 0 0],'facecolor',[.3 .9 .1])
alpha(0.3)

```

---

---

```

hold on
Z_floor = 0*X;
h = mesh(X,Y,Z_floor);
set(h,'edgecolor',[0 0 0],'facecolor',[0.9 0.1 0.01])
alpha(0.3)
hold on
b = bar3(simulation_result,0.5);
colormap(colormap_data)
axis = gca;
axis.FontSize = 12;
title({'Antal bilar och deras motsvarande', 'energiökning samt
  laddningstid'}, 'FontSize',16')
xlabel('Bilar', 'FontSize',16)
ylabel('Laddningstid [h]', 'FontSize',16)
zlabel('Energiökning [kWh]', 'FontSize',16)
xlim([0 size(simulation_result,2) + 1])
ylim([0 size(simulation_result,1) + 1])
zlim([0 energy_need])
xticks(0:3:size(simulation_result,2))
yticks(0:3:size(simulation_result,1))
zticks(0:1:energy_need)
grid on

% ta bort staplar med värdet 0
for i=1:numel(b)
    Z = get(b(i), 'ZData');
    rows_index = reshape(1:size(Z,1), 6, []);
    bars_index = all([Z(2:6:end,2:3) Z(3:6:end,2:3)] == 0, 2);
    Z(rows_index(:,bars_index), :) = NaN;
    set(b(i), 'ZData', Z)
end

% färgkoda stapeldiagrammet med avseende på höjden
for k = 1:length(b)
    z_data = b(k).ZData;
    b(k).CData = z_data;
    b(k).FaceColor = 'interp';
end

% justera etiketterna så att de ligger längst med axlarna
h = rotate3d;
set(h, 'ActionPreCallback', 'set(gcf, 'windowbuttonmotionfcn', @align_axislabel)')
set(h, 'ActionPostCallback', 'set(gcf, 'windowbuttonmotionfcn', '')')
set(gcf, 'ResizeFcn', @align_axislabel)
align_axislabel([], gca)
axislabel_translation_slider;

```

*Published with MATLAB® R2017b*