



**CHALMERS**

# Simulering av elnät vid olika belastningsfall

Examensarbete vid institutionen för Elektroteknik

Anton Bäckström

**Institutionen för Elektroteknik**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

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

---



EXAMENSARBETE 2021

# Simulering av elnät vid olika belastningsfall

ANTON BÄCKSTRÖM



**CHALMERS**

Institutionen för Elektroteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2021

Simulering av elnät vid olika belastningsfall

ANTON BÄCKSTRÖM

© ANTON BÄCKSTRÖM, 2021.

Examinator & handledare: Thomas Hammarström, Institutionen för Elektroteknik

Examensarbete 2021  
Institutionen för Elektroteknik

Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Typsatt i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg, Sverige 2021



# Sammanfattning

I detta projekt, framtaget tillsammans med Gislaved energi, har en del av deras elnät simulerats. Detta elnät omfattar ett område med cirka 15 kunder där ett antal förenklingar och antaganden har gjorts för att förenkla arbetet.

Syftet med arbetet är följaktligen att simulera en mindre del av ett lokalt elnät vid olika belastningar. De belastningsfall som ska undersökas är normalbelastning, belastning då samtliga kunder använder solceller samt då varje hushåll laddar två elbilar. Efter att data samlats in från simulering av elnätet ska en jämförelse ske med verklig data från området i fråga. En analys och diskussion kring huruvida teorin, i form av Velanders formel, överensstämmer med verkligheten genomförs dessutom. Slutligen ska förslag på åtgärder presenteras i syfte att hålla nere effekttoppar i elnät.

Resultatet av arbetet visar att det är svårt att uppskatta förbrukningar i elnätet och att det är av stor vikt att Velanders konstanter stämmer. Resultatet visar att Velanders formel ger en för låg uppskattning jämfört med de uppmätta värdena erhållna av Gislaved energi. Detta kan bland annat bero på de konstanter som tillhandahållits av Gislaved energi eller hur den verkliga datan har lästs av. Belastningsfallet med solceller kan ses som problematiskt då den ström som genereras blir för stor för de flesta säkringarna hos och kan därför skada kablar. Fallet med elbilsladdning belastar också nätet för mycket och hade inte varit möjligt idag med de förutsättningar som projektet antagit.

---

# Abstract

In this project, carried out together with Gislaved energi, a part of their electrical grid have been simulated. This electrical grid covers an area of approximately 15 customers where a number of simplifications and assumptions have been made in order to simplify the project.

The purpose of the work is consequently to simulate a smaller part of a local electrical grid at different loads. The load cases to be investigated are normal load, load when all customers use solar cells and when each household charges two electric cars. After data has been collected from simulation of the electrical grid, a comparison shall be made with actual data from the area. An analysis and discussion of whether the theory, in the form of Velander's formula, corresponds to reality is also carried out. Finally, proposals for measures to keep power peaks down in electrical grids will be presented.

The results of the work show that it is difficult to estimate energy consumption in the electrical grid and that it is of great importance that Velander's constants are correct. Results further shows that Velander's formula gives a too low estimate compared to the measured values obtained by Gislaved energi. This may be due to the constants provided by Gislaved energi or how the actual data has been read. The load drop with solar cells can be seen as problematic as the current generated becomes too large for most fuses at the customers and can therefore damage cables. Another factor observed was that electric car charging also puts too much strain on the network and would not have been possible today with the conditions assumed by the project.

# Förord

Jag vill tacka min handledare och examinator Thomas Hammarström, docent på Chalmers tekniska högskola vid Institutionen för Elektroteknik, för den hjälp och handledning jag fått under arbetets gång.

Jag vill även tacka Mattias Svensson, teamchef El på Gislaved energi, och Olof Berggren, tekniker från Gislaved energi, för möjligheten att genomföra detta arbete och för den hjälp och data ni tillhandahållit i projektet.

Författaren, Göteborg, maj 2021



# Innehållsförteckning

Nomenklatur och förkortningar	xi
Figurförteckning	xiii
Tabellförteckning	xv
<b>1 Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.1.1 Uppdragsgivare . . . . .	2
1.2 Syfte . . . . .	2
1.3 Avgränsningar . . . . .	2
1.4 Precisering av frågeställningen . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Velanders formel . . . . .	5
2.2 Elproduktion med solceller . . . . .	5
2.3 Elbilsladdning . . . . .	6
2.4 Skenbara effekt . . . . .	6
2.5 Strömförbrukning . . . . .	7
2.6 Symbollista . . . . .	8
<b>3 Metod</b>	<b>9</b>
3.1 Analys av data . . . . .	9
3.2 Enlinjeschema . . . . .	9
3.3 Tillämpning av Velanders formel . . . . .	10
3.4 Simulering av elnät . . . . .	10
<b>4 Resultat &amp; Analys</b>	<b>11</b>
4.1 Resultat . . . . .	11
4.1.1 Solceller . . . . .	11
4.1.2 Elbilsladdning . . . . .	12
4.2 Analys . . . . .	13
4.2.1 Effektberäkningar . . . . .	13
4.2.2 Solceller . . . . .	13
4.2.3 Elbilsladdning . . . . .	13

<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>15</b>
5.1	Metoddiskussion . . . . .	15
5.1.1	Solceller . . . . .	15
5.1.2	Elbilsladdning . . . . .	15
5.2	Framtida projekt . . . . .	16
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>17</b>
	<b>Referenslista</b>	<b>19</b>
<b>A</b>	<b>Bilaga 1</b>	<b>I</b>

# Nomenklatur och förkortningar

## Symboler & Variabler

$A_{sol}$  Area för solceller [m<sup>2</sup>]

$A_{takyta}$  Area för takyta [m<sup>2</sup>]

$\cos(\varphi)$  Effektfaktor

$I$  Ström [A]

$I_{alt\_tot}$  Total ström vid alternativ beräkning [A]

$I_{alt}$  Ström vid alternativ beräkning [A]

$I_{bil\_tot}$  Total ström vid elbilsladdning [A]

$I_{bil}$  Ström vid elbilsladdning [A]

$I_{sol\_tot}$  Total ström vid solceller [A]

$I_{sol}$  Ström vid solceller [A]

$k_1$  konstant i Velanders formel

$k_2$  konstant i Velanders formel

$n_{kunder}$  Antal kunder [st]

$P$  Effekt [W]

$P_{alt}$  Effekt vid alternativ beräkning [W]

$P_{bil\_tot}$  Total effekt vid Elbilsladdning [W]

$P_{bil}$  Effekt vid elbilsladdning [W]

$P_{max}$	Maximaleffekt enligt tumregel [W]
$P_{område}$	Effekt i området [W]
$P_{sol\_A}$	Effekt per area vid solceller [W/m <sup>2</sup> ]
$P_{sol\_tot}$	Total effekt vid solceller [W]
$P_{sol}$	Effekt vid solceller [W]
$S$	Skenbareffekt [VA]
$S_{alt\_tot}$	Total skenbareffekt vid alternativ beräkning [VA]
$S_{alt}$	Skenbareffekt vid alternativ beräkning [VA]
$S_{bil\_tot}$	Total skenbareffekt vid Elbilsladdning [VA]
$S_{bil}$	Skenbareffekt vid elbilsladdning [VA]
$S_{sol\_tot}$	Total skenbareffekt vid solceller [VA]
$S_{sol}$	Skenbareffekt vid solceller [VA]
$U$	Spänning [V]
$W$	Årlig energiförbrukning [Wh]

### Förkortningar

CAD Computer-aided Design

### Programvaror

EasyEl CAD program för elritningar

El-vis Programvara för lagar, regler och standarder inom el

MATLAB Programmering- och beräkningsverktyg

# Figurförteckning

2.1	Symbollista . . . . .	8
3.1	Enlinjeschema över området . . . . .	10
4.1	Enlinjeschema med solceller . . . . .	12
4.2	Enlinjeschema med elbilar . . . . .	12
A.1	Tumregler från kurs MTT060 på Chalmers, tagna ur Elbasen skriven av Svensk elstandard . . . . .	I



# Tabellförteckning

4.1	Resultat . . . . .	11
-----	--------------------	----





# 1

## Introduktion

*I introduktionskapitlet beskrivs bakgrunden till projektet, syftet definieras, uppdragsgivare presenteras, avgränsningar i arbetet görs och frågeställningen preciseras.*

### 1.1 Bakgrund

Elnätet är ett stort och komplext system som har byggts upp under flera decennier, vilket gör det svårt och tidskrävande att förstärka elnätsinfrastrukturen. Att dagens samhälle också ständigt utvecklas, och därmed efterfrågar mer effekt av elnätet, underlättar inte när elnätet ska dimensioneras. Effekten i ett elnät är momentan vilket gör att den generas och förbrukas direkt. Det innebär att det är viktigt att nätet klarar av konsumentras behov. Flera av de förnyelsebara energikällorna som installeras idag utgör även stora problem när det kommer till att hålla elnätet stabilt.

Ett stabilt elnät betyder att spänningsfrekvensen ska hållas på ett värde runt 50 Hz. Frekvensen får variera mellan 49,9 och 50,1 Hz för att anses acceptabel [1]. Vilket kan justeras genom att ändra matningen av energi till elnätet. Förhöjd inmatning höjer frekvensen, medan minskad inmatning sänker frekvensen [1].

Frekvensen kan även förändras vid stora laständringar, vilket exempelvis inträffade den 6:e november 2012 i Stockholm då ett stort strömavbrott slog ut stora delar av kollektivtrafiken. Elavbrottet i Stockholm var en stor förändring av energikonsumtion i nätet vilket gjorde att frekvensen gick upp och andra delar av nätet var tvungna att kopplas bort. Detta bidrog följaktligen till fler strömavbrott på andra ställen i Sverige [2]. För att undvika frekvensvariationer är det bra om det finns en "tröghet" i nätet. Med tröghet menas att det finns komponenter som kan lagra energi. Idag lagras energi med hjälp av stora generatorer som består av massiva hjul som kan bevara mekanisk energi, vilket gör de "tröga" mot förändringar snabba förändringar på kort sikt [1]. Denna tröghet finns idag främst i vatten- och värmekraftverk men saknas däremot i sol- och vindkraft, vilket kan orsaka problem för elnätsinfrastrukturen i framtiden.

Med anledning av ovanstående är det viktigt att göra simuleringar och beräkningar på elnätet i syfte att dimensionera samt undersöka och förutsäga dess kapacitet. För att rätt prioriteringar och åtgärder ska kunna vidtas inför framtiden är det viktigt att rimliga och pålitliga toppeffektsberäkningar utförs, i syfte att säkerställa driftsäkerheten. Vanligtvis används Velanders formel i Sverige för att ta fram toppeffekten

[3]. Velanders formel lyder enligt Ekvation 1.1

$$P = k_1 \times W + k_2 \times \sqrt{W} \quad (1.1)$$

där  $P$  är topp effekt och  $W$  är årsenergi. Formeln behöver endast den årliga energiförbrukningen ( $W$ ) och vilken kundkategori ( $k_1$  och  $k_2$ ) lasten tillhör. Sten Velanders tog fram formeln år 1952 [3].

### 1.1.1 Uppdragsgivare

Projektets uppdragsgivare är Gislaved energi, vilket är ett mindre energibolag med ca 5000 kunder stationerat i Gislaved, Småland. Företaget tillhandahåller egen elproduktion i form utav soleller på ca 100 MWh per år, vindkraft på ca 24 GWh per år och vattenkraft som årligen producerar ca 6 GWh [4]. De förser detta projektet med all data och information och hjälper även till med handledning.

Området som ska undersökas i detta arbete omfattar en liten del av Gislaved energis elnät med 15 inkopplade elvärmekunder. Gislaved energi kommer att tillgodose projektet med de konstanter och den data som krävs. De Velanderskonstanter som erhållits av Gislaved energi är  $k_1 = 0.0003$  och  $k_2 = 0.025$ .

## 1.2 Syfte

Projektets syfte är att simulera en mindre del av ett lokalt elnät med olika belastningar, som laddning av elbilar och nyttjande av solceller. Denna insamlade data från simuleringarna skall följaktligen jämföras med den verkliga data för området. Analyser av huruvida Velanders formel är tillräckligt noggrann, samt vilka konstanter som bör användas vid beräkningar av denna kommer att ske. Slutligen kommer förslag på åtgärder att presenteras i syfte att hålla nere effekttopparna.

## 1.3 Avgränsningar

Projektet kommer endast fokusera på en liten del av nätet, från en nätstation till ett fåtal kabelskåp. Detta medför att ingen högspänning kommer att undersökas, då gränsen för högspänning går vid 1000 V och projektet endast kommer att hantera 400 V.

Den data som är given innehåller också information om kunder som enligt sekretessavtal med uppdragsgivaren inte får nämnas i rapporten, utan istället kommer fiktiva namn att tillämpas vid behov.

Förenklade antagande om kunderna kommer att genomföras i projektet. Alla kunder kommer antas ha lika stora hus med samma förbrukning och takyta. Årsförbrukningen hos kunderna kommer att antas vara 15000 kWh. Takytan för kundernas

bostäder är uppskattad till  $133 \text{ m}^2$ .

Solcellerna kommer att antas ha en area på  $1,7 \text{ m}^2$ . De kommer att generera en maximal effekt på  $420 \text{ W}$  per panel. Alla kunder kommer att antas ha hälften av sin takyta täckt av solceller placerade i optimalt installerat läge för att få ut max effekt. Med optimalt menas att rikta solcellerna med panelsidan mot söder. I söderläge får panelerna flest soltimmar eftersom att solen går upp i öst och ner i väst.

Vid laddning av elbilar kommer kunderna antas använda sig av laddboxar med en effekt på  $22 \text{ kW}$ . Följaktligen antas att samtliga hushåll besitter två bilar.

Under hela projektet kommer elnätets effektfaktor antas vara  $\cos(\varphi) = 0,95$

## 1.4 Precisering av frågeställningen

- Hur påverkar olika extrempåbjudningar elnätet?
- Är Velanders formel tillräckligt noggrann och vilka konstanter bör användas i formeln?
- Att utifrån simuleringar dra slutsatser om vad som skulle kunna göras med exempelvis lastbalansering.



# 2

## Teori

*Detta kapitlet beskriver de formler och beräkningar som används i projektet.*

### 2.1 Velanders formel

För att beräkna den maximala effektförbrukningen i området används Velanders formel enligt ekvation 1.1, med hänsyn till antalet kunder enligt följande

$$P_{område} = k_1 * W \times n_{kunder} + k_2 \times \sqrt{W \times n_{kunder}} [kW] \quad (2.1)$$

Som tidigare nämnt, kommer konstanter  $k_1$  och  $k_2$  samt den årliga energiförbrukningen  $W$  från villorna att tillhandhållas av Gislaved energi. Ett genomsnitt kommer att tas fram för att enklare kunna utföra alla beräkningar.

Genom att därefter dividera maxeffekten för hela området med antalet kunder kan den maximala effekten per kund räknas ut enligt ekvation 2.2

$$P_{kund} = \frac{P_{område}}{n_{kunder}} [kW] \quad (2.2)$$

Velanders formel kommer att jämföras med en alternativ maximal effekt för området. Denna effekt kommer att beräknas enligt ekvation 2.3 där den maximala effekten per kund enligt tumregeln i Bilaga A.1 multipliceras med antal kunder i området.

$$P_{alt} = P_{max} \times n_{kunder} [kW] \quad (2.3)$$

### 2.2 Elproduktion med solceller

Solceller kommer att antas vara installerade på alla kunders tak i området. Som nämndes i avgränsningar kommer uppskattning av takytan hos kunderna i område att göras och alla hus kommer att antas ha samma area. Solcellerna kommer att täcka hälften av takytan eftersom de ska vara placerade i söderläge. Det finns en maximal effektutvinning från solcellerna i watt och alla solpaneler kommer antas ha samma area, vilket gör att effekt per kvadratmeter för solcellerna kan räknas ut enligt ekvation 2.4

$$P_{sol\_A} = \frac{P_{sol}}{1000 \times A_{sol}} [kW/m^2] \quad (2.4)$$

Med hjälp av effekten per kvadratmeter för solcellerna beräknas effekten per kund genom att multiplicera med halva takytan för en villa enligt ekvation 2.5. För att få

fram hur mycket effekt hela området kan producera med solceller så multipliceras ekvation 2.5 med antal kunder enligt ekvation 2.6.

$$P_{sol} = P_{sol\_A} \times \frac{A_{takyta}}{2} [kW] \quad (2.5)$$

$$P_{sol\_tot} = P_{sol\_A} \times \frac{A_{takyta}}{2} \times n_{kunder} [kW] \quad (2.6)$$

## 2.3 Elbilsaddning

Elbilarna i området kommer antas bli laddade av en laddbox som har en maximal utgående effekt. Eftersom att det antas vara två bilar som laddas samtidigt för alla hushåll multipliceras den maximala utgående effekten med en faktor två enligt ekvation 2.7.

$$P_{bil} = P_{ladd} \times 2 [kW] \quad (2.7)$$

Effekten från ekvation 2.7 multipliceras sedan med antal kunder i området för att få fram den totala effekten som området kommer dra på grund av elbilsaddning enligt ekvation 2.8.

$$P_{bil\_tot} = P_{bil} \times n_{kunder} [kW] \quad (2.8)$$

## 2.4 Skenbara effekt

Den skenbara effekten räknas genom att dividera effekten med verkningsgraden enligt ekvation 2.9.

$$S = \frac{P}{\cos(\varphi)} [kVA] \quad (2.9)$$

Den skenbara effekten beräknas för en kunds maximala effektförbrukning, elproduktion med solceller, elbilsaddning och alternativ maximal effektförbrukning enligt ekvation 2.10 - 2.13

$$S_{kund} = \frac{P_{kund}}{\cos(\varphi)} [kVA] \quad (2.10)$$

$$S_{sol} = \frac{P_{sol}}{\cos(\varphi)} [kVA] \quad (2.11)$$

$$S_{bil} = \frac{P_{bil}}{\cos(\varphi)} [kVA] \quad (2.12)$$

$$S_{alt} = \frac{P_{alt}}{\cos(\varphi)} [kVA] \quad (2.13)$$

För att få den totala skenbara effekten i området vid de olika belastningarna multipliceras samtliga ekvationer 2.10-2.13 med antal kunder enligt 2.14-2.17

$$S_{kund\_tot} = S_{kund} \times n_{kunder} [kVA] \quad (2.14)$$

$$S_{sol\_tot} = S_{sol} \times n_{kunder} [kVA] \quad (2.15)$$

$$S_{ibl\_tot} = S_{bil} \times n_{kunder} [kVA] \quad (2.16)$$

$$S_{alt\_tot} = S_{alt} \times n_{kunder} [kVA] \quad (2.17)$$

## 2.5 Strömförbrukning

Strömförbrukningen kan räknas ut genom att dividera den skenbara effekten med kvadratroten ur tre multiplicerat med spänningen enligt ekvation 2.18.

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.18)$$

På följande sätt kan de olika strömbelastningarna för en enskild kund beräknas enligt ekvation 2.19-2.22 och den totala strömförbrukningen enligt ekvation 2.23-2.26

$$I_{Kund} = \frac{S_{Kund} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.19)$$

$$I_{Sol} = \frac{S_{Sol} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.20)$$

$$I_{Bil} = \frac{S_{Bil} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.21)$$

$$I_{Alt} = \frac{S_{Alt} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.22)$$

$$I_{Kund\_tot} = \frac{S_{Kund\_tot} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.23)$$

$$I_{Sol\_tot} = \frac{S_{Sol\_tot} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.24)$$

$$I_{Bil\_tot} = \frac{S_{Bil\_tot} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.25)$$

$$I_{Alt\_tot} = \frac{S_{Alt\_tot} \times 1000}{\sqrt{3} \times U} [A] \quad (2.26)$$

## 2.6 Symbollista

Symboler som använts i projektet presenteras i detta kapitel



**Figur 2.1:** Symbollista

Från Figur 2.1 kan vi se de symboler som används vid enlinjescheman. Transformator (1), skena (2), knivsäkringslist (3), brytare (4), säkring och mätare (5) samt ström och effektriktning (6).



# 3

## Metod

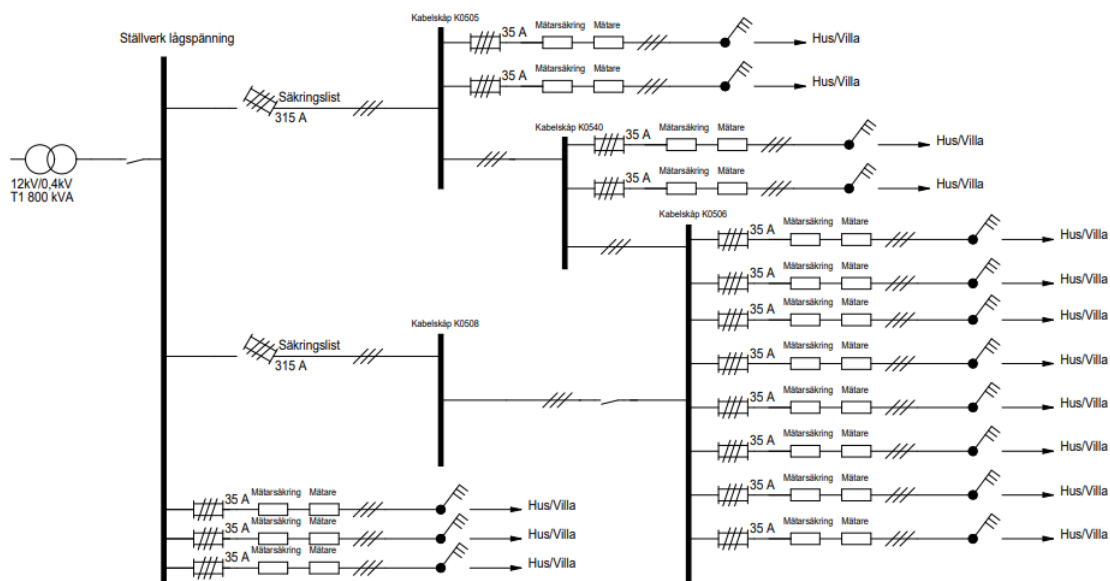
*I metodkapitlet kommer arbetets tillvägagångsätt att beskrivas samt de val som gjorts att motiveras och förklaras.*

### 3.1 Analys av data

Projektet startar med att analysera och sammanställa data från Gislaved energi för att kunna få en överblick av området som ska studeras. Den data som tillhandahållits innehåller information om olika komponenter i området, till exempel om transformatorn i nätstationen, alla kablar som ligger i området, samtliga kabelskåp och årlig effektförbrukning i området. Information gällande antalet kunder och laster som är inkopplade i området erhålls även.

### 3.2 Enlinjeschema

Ett enlinjeschema ritas över området för att få med alla komponenter och laster. Detta görs med hjälp av programvarorna "El-vis" och "EasyEL". "El-vis" är ett program som har samlat lagar, regler och standarder på en och samma plattform [5]. "EasyEL" är ett CAD-program som skapats för att underlätta vid ritande av krets-scheman och installationer [6]. Enlinjeschemat ska innehålla allt från nätstationen fram till last, inklusive transformatorer, brytare, säkringar, kablar, kabelskåp och laster enligt Figur 3.1.



Figur 3.1: Enlinjeschema över området

### 3.3 Tillämpning av Velanders formel

När all data är sammanställd och enlinjeschemat ger en överblick över elnätet i området ska effekterna beräknas med hjälp av Velanders formel i MATLAB. Effekterna ska sedan jämföras med den verkliga data från området och en slutsats om huruvida Velanders formel är tillräckligt noggrann ska dras.

Gislaved energi presenterar kundernas data i reaktiv effekt timme för timme för ett helt år. Där ska den högsta förbrukningen plockas ut och därefter jämföras med den beräknade datan.

### 3.4 Simulering av elnät

Elnätet ska simuleras vid olika belastningar, till exempel vid normaldrift, men även vid mer extrema fall där alla kunder förväntas ladda två elbilar och ha solceller på taken. Simuleringarna gör för hand i MATLAB. Detta görs i syfte att se hur ett framtida scenario skulle påverka nätet och ifall den infrastruktur som finns där idag skulle klara av uppgiften.

# 4

## Resultat & Analys

I följande kapitel kommer resultaten från arbetet att presenteras och analyseras. Resultaten kommer att presenteras i form av tabeller samt enlinjescheman med belastningarna utmärkta

### 4.1 Resultat

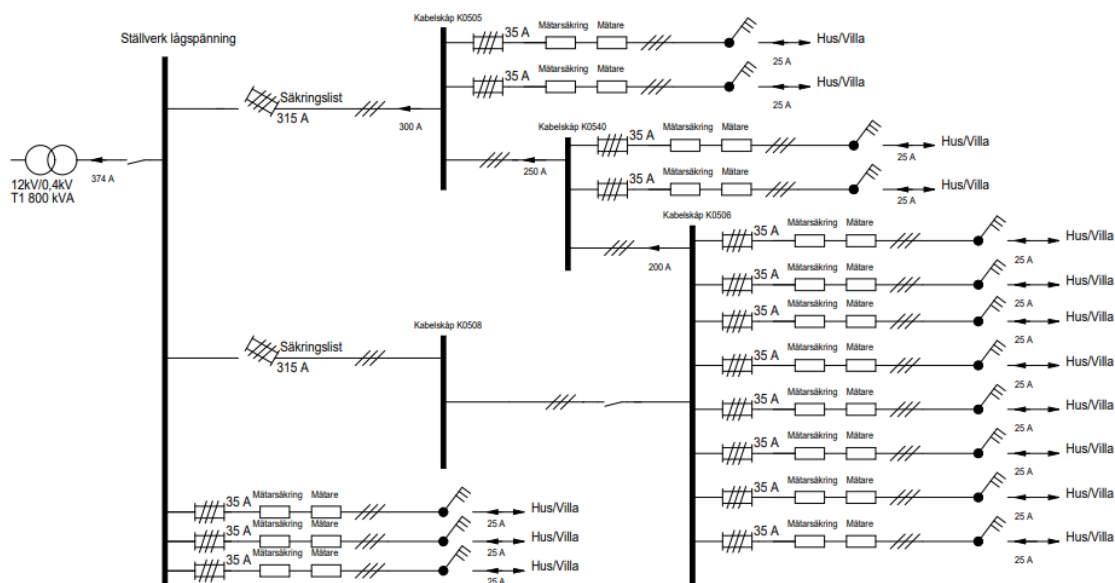
I Tabell 4.1 kan de olika belastningarna ses och deras respektive påverkan på elnätet, både varje kund för sig och vad den totala påverkan blir. Notera att för solceller antas det att ingen förbrukning sker i husen under tiden vilket gör att all effekt går till nätet. Elbilsladdningen motsvarar att varje kund laddar två elbilar samtidigt.

**Tabell 4.1:** Resultat

	P (kW)	S (kVA)	I (A)
Gislaved energis värden för max förbrukning	124	131	190
Gislaved energis värden för max förbrukning per kund	8,3	8,7	12,6
Beräknade värden för max förbrukning	80	84	121
Beräknade värden för max förbrukning per kund	5,3	5,6	8
Alternativ beräknade värden för max förbrukning	150	157	227
Alternativ beräknade värden för förbrukning per kund	10	10,5	15
Beräknade värden för solceller	246	246,5	374
Beräknade värden för solceller per kund	16	17	25
Beräknade värden för elbilsladdning	660	695	1000
Beräknade värden för elbilsladdning per kund	44	46	66

#### 4.1.1 Solceller

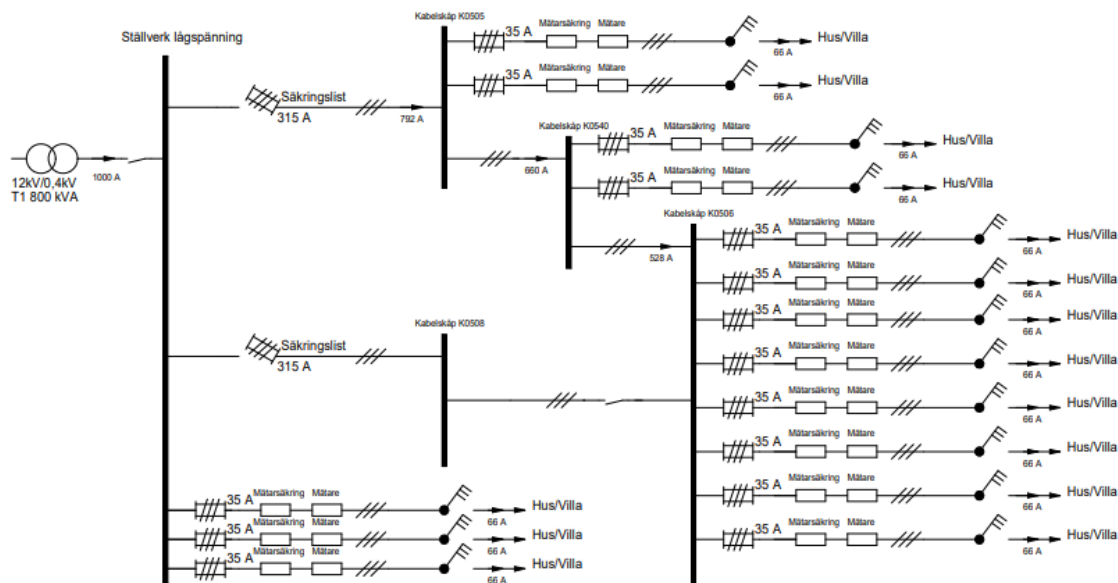
I Tabell 4.1 och enlinjeschemat från Figur 4.1 går det att se hur strömmen från solcellerna skulle bete sig i nätet. Pilarna pekar mot nätet med storlek 25 A. Detta betyder att ca 25 A genereras per villa utifrån de förutsättningar som är satta. Detta leder även till att en ström på totalt 374 A kommer att skickas ut från området och ut i det stora elnätet, vilket även visas i Tabell 4.1.



Figur 4.1: Enlinjeschema med solceller

### 4.1.2 Elbilsaddning

På samma sätt som för solcellerna går det att se hur elbilsaddningen påverkar nätet i Figur 4.2. Där behöver området ca 1000 A extra från det stora nätet och 66 A behöver skickas in i varje hus för att scenariot ska uppfyllas.



Figur 4.2: Enlinjeschema med elbilar

Ur datan från Gislaved energi har kunderna även egna säkringar som varierar från

kund till kund. I det aktuella området har kunderna säkringar på 16 - 25 A.

## 4.2 Analys

I analysen kapitlet kommer en analys av resultatet göras utifrån de beräkningar som presenterats i teori kapitlet.

### 4.2.1 Effektberäkningar

Från resultatet går det att se att den effekt som beräknas med hjälp av Velanders formel är lägre än den effekt som datan från Gislaved energi visar. Velanders formel ger en total maxförbrukning på 80 kW i området. Datat visar en maxeffekt på 124 kW medan den alternativa beräkningen ger 150 kW. Detta skulle betyda att Velanders formel inte är helt exakt eller att de konstater som givits inte är korrekta eftersom det ger ett för lågt värde. Det betyder att konstanterna hade behövt vara större för att ge en verkligare uppskattning. Samtidigt ger de alternativa beräkningarna en för hög uppskattad effekt.

Detta kan bero på flera faktorer, först och främst kan de bero på de antaganden som gjorts. Det kan vara att de 15 kunder som funnit i området inte har samma förutsättningar i verkligheten vilket gör att förbrukningen ser annorlunda ut i verkligheten. Det kan även bero på hur den verkliga datan har lästs av. I detta projekt togs den största förbrukningen under ett år från varje kund. Det kan dock ge en felaktig bild av förbrukning då det inte är säkert att alla kunder hade sin maximala förbrukning samtidigt. Velanders konstanterna kan också vara felaktiga, i detta fall för låga då de underskattade den maximala effektförbrukningen hos kunderna.

### 4.2.2 Solceller

Resultatet visar även att det inte går att ha den mängden solceller på alla tak med de förutsättningar som är satta. De flesta kunderna har en säkring som klarar mellan 16 och 25 A, vilket gör att endast ett fåtal av kunderna skulle kunna klara av att generera den mängden el från solceller. Dock kan de förutsättningar som sats under detta projekt vara annorlunda i verkligheten. Det är inte alltid optimala förutsättningar då det är väderberoende. Kunderna har även en egen förbrukning som bortsågs ifrån under detta projektet, vilket hade gjort att belastningarna på nätet inte blivit lika stora då mycket av effekten hade använts direkt av kunden.

### 4.2.3 Elbilsladdning

Elbilsladdningen är enligt det här resultatet omöjligt att genomföra med dessa förutsättningar. Kunderna har som nämnts tidigare, säkringar på 16-25 A och nätet har säkringar på 35 A till varje kund, vilket gör att en effekt på 44 kW och en ström på 66 A gör att varken kunderna eller elnätet i detta område skulle klara av den belastningen i nuläget.



# 5

## Diskussion

*I diskussionskapitlet kommer resultatet att diskuteras samt rimlighet och eventuella lösningar kommer att lyftas upp.*

### 5.1 Metoddiskussion

Resultat blev inte som räknat med, då den verkliga datan visade mycket högre värden än förväntat. Velanders formel gav en lägre uppskattad maxeffekt än de verkliga värdena. De verkliga värdena var dessutom fortfarande lägre än resultatet av den alternativa beräkningen vilket tyder på att en metod som Velanders behövs för att kunna uppskatta den maximala förbrukningen. Enligt Tabell 4.1 i resultatet förväntas kunderna att ha en förbrukning på 80 kW och 121 A enligt Velanders formel, men från datan given från Gislaved energi är den 124 kW och 190 A. Detta kan bero på flera orsaker, däribland att Velanders konstanter som var givna är för låga och ger ett "underskattat" värde. Ett annat alternativ är att datan från Gislaved energi är missvisande, vilket är mest troligt då det kommer från ett excelark med ca 17000 rader vilket gjorde det svårt att få fram rätt data. Den data som är utplockad nu är när alla kunder förbrukar maximalt samtidigt. Det fallet är väldigt sällsynt.

#### 5.1.1 Solceller

Antagandet om ingen förbrukning i husen vid solcellsproduktion kan ses som orimlig då det blir höga strömmar i systemet som ses i Figur 4.1. Om i stället kunderna hade haft normal förbrukning skulle inte strömmarna i elnätet bli så stora, eftersom stora delar av den effekt som genererats hade förbrukats direkt hos kunderna och inte belastat det gemensamma elnätet. Det är även inte möjligt att alltid få ut maximal effekt från solcellerna eftersom dessa är väderberoende. Ett alternativ för solcellerna är även att kunderna i området skulle kunna gå ihop och investera i solpaneler som sätts upp på ett fåtal hus med de bästa förutsättningarna. Dessa hus genererar sedan el till flera bostäder. Detta är så klart en ekonomisk fråga som kan vara svår realisera. Ett annat alternativ är att kunderna installerar färre solpaneler för att få ner den maximala effekten

#### 5.1.2 Elbilsaddning

Laddningen av elbilar med de förutsättningar som satts i projektet blev orimliga med dagens elnät. Det kan bero på att bilarna inte laddar med full effekt hela tiden

utan att det styrs av till exempel av laddboxar eller av bilen själv. Det är också osannolikt att alla hushåll i området har två helt urladdade elbilar samtidigt.

En intressant tillämpning för elbilsladdningen är att Göteborg energi tillsammans med andra aktörer har påbörjat ett projekt där de ska undersöka om elbilar kan fungera som energilager. "En teknik som gör det möjligt för elbilar att med sin batterikapacitet bidra till minskning av effekttoppar, reservkraft vid strömavbrott eller stödtjänster för elnätet." [7]. Detta skulle innebära att elbilarna kan användas till att underlätta för elnätet när de inte laddas. Projektet är ännu i ett tidigt skede och ingen vet hur det skulle se ut att applicera i dagen samhälle.

### 5.2 Framtida projekt

Det hade varit intressant att i framtiden titta närmare på elnätet i verkligheten och hur dess komponenter hade kunnat undersökas eller förbättrats. Det hade också varit av intresse att kolla noggrannare på det som nämnts i projektet och genom att jobba närmare med Gislaved energi kunna göra mer noggranna och avancerade simuleringar med hjälp av olika programvaror. Det hade även varit intressant att undersöka hur exempelvis energilager i form av vätgas hade gått att implementera som en lösning.



# 6

## Slutsats

Att utifrån resultatet dra en slutsats om Velanders formel är tillräckligt noggran är svår. De beräknade värdena stämmer inte överens med verkligheten. Det kan bero på flera faktorer som har nämnts tidigare. Eftersom de verkliga värdena inte kan garanteras som rätt kan ingen slutsats om Velanders formel dras. Det kan vara att Velanders konstanterna behöver ändras eller att den verkliga datan måste läsas på ett annat sätt. Eftersom den verkliga data är hämtad ifrån när varje enskilt hus har haft sin största förbrukning på ett år, är det inte säkert att det inträffade samtidigt för samtliga kunder. Det går dock att se att den alternativa metoden för att räkna ut förbrukningen ger en för stor uppskattning.

Det går dock att se utifrån resultaten att kundernas egna säkringar inte skulle klara av de belastningar som simulerats. För solceller blir belastningen ungefär 25 A per kund och det är endast ett fåtal av kunderna som har tillräckligt stora säkringar för det. Vid billaddningen är belastningen däremot 66 A och det är ingen av kunderna som klarar av den belastningen.

De slutsatser som kan dras gällande effekttoppar, är att dagens nät kan ha svårt att klara av de toppar och belastningar som kan komma att uppstå i framtiden.



# Litteratur

- [1] D. Karlsson, A. Nordling, Gothia Power. "Svängmassa i elsystemet en underlagsstudie IVA-projektet vägval el," URL: <https://www.iva.se/globalassets/rapporter/vagval-el/201606-iva-vagvalel-svangmassa-c.pdf>. (Hämtad: 2021-02-22).
- [2] Peter Larsson. "KTH-forskare: Elnätet är väldigt sårbart," URL: <https://www.kth.se/aktuellt/nyheter/kth-forskare-elnetet-ar-valdigt-sarbart-1.359153%7D>. (Hämtad: 2021-02-22).
- [3] E. Persson, P. Jonsson. "UTVÄRDERING AV VELANDERS FORMEL FÖR TOPPEFFEKTBERÄKNING I ELDISTRIBUTIONSNÄT: Regressionsanalys av timvis historiska kunddata för framtagning av Velanderkonstanter," URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1223815/FULLTEXT01.pdf>. (Hämtad: 2021-02-23).
- [4] Gislaved energi. "Vår egen elproduktion," URL: <https://www.gislavedenergi.se/sv/om-oss/var-egen-elproduktion/>. (Hämtad: 2021-02-22).
- [5] El-vis. "EL-VIS Info," URL: <https://el-vis.com/info>. (Hämtad: 2021-02-24).
- [6] P. data. "Kontakta oss," URL: <http://www.pkdata.se/kontakt/>. (Hämtad: 2021-02-24).
- [7] Göteborg energi. "pressmeddelande," URL: <https://www.goteborgenergi.se/om-oss/press/pressmeddelanden/pressmeddelande/3086760/Pressmeddelande-Nytt-utvecklingsprojekt-sa-kan-vi-anvanda-elbilar-for-att-avlasta-elnetet>. (Hämtad: 2021-05-25).



# A

## Bilaga 1

### **Bra tumregler och specifika tal**

Effektbehov för ett elvärmst småhus är ca 6-8 kW och 15 000 kWh/år, om det är litet. Om det är en större villa kan vi räkna med 8-10 kW och 20 000 kWh/år.

Effektbehov för en icke elvärmnd lägenhet är ca 1,2-1,5 kW och 3 000-4 000 kWh/år, inklusive allmänförbrukning, dvs. för hiss, tvättstuga mm.

I verksamhetsområden kan vi räkna med 20 W/m<sup>2</sup> tomtyta.

I centrumanläggningar kan vi räkna med 70 W/m<sup>2</sup> våningsyta.

**Effekterna är sammanlagrade till nätstationsnivå.**

**Figur A.1:** Tumregler från kurs MTT060 på Chalmers, tagna ur Elbasen skriven av Svensk elstandard

AVDELNING FÖR ELEKTROTEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
GÖTEBORG, SVERIGE  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**