



**CHALMERS**

# **Effektkapande i fastigheter utrustat med ett smart elförbrukningssystem**

Undersökning av solcellsanläggning och batterilagringens  
påverkan på fastigheters elförbrukning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroteknik

Edward Jansson

---

**INSTITUTIONEN FÖR ELKRAFTTEKNIK**

**AVDELNING FÖR ELTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

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



# **Effektkapande i fastigheter utrustat med ett smart elförbrukningssystem**

-

**Edward Jansson**



**CHALMERS**

## **Effektkapande i fastigheter utrustat med ett smart elförbrukningssystem**

Edward Jansson

©Edward Jansson 2021

Examinator: Thomas Hammarström

Extern Handledare på Rejlers: Per Hederstedt

Institution för Elkraftteknik  
Avdelning för Elteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 (0)31-772 1000

# Förord

Detta examensarbete på 15 högskolepoäng har utförts som en avslutande del av högskoleingenjörsprogrammet i Elektroteknik på Chalmers vårterminen 2021. Arbetet har utförts på Rejlers AB:s kontor och hemifrån.

Jag vill rikta ett stort tack till Rejlers AB och min externa handledare Per Hederstedt som välkomnat och stöttat mig genom arbetets gång. Jag vill även tacka Stena Fastigheter AB som bidragit med data.

Slutligen vill jag tacka min handledare och examinator Thomas Hammarström på Chalmers för råd och vägledning.

Edward Jansson

Göteborg, 2021

## Sammanfattning

Denna rapport undersöker hur elförbrukningen i fastigheter kan påverkas av ett samspel mellan en solcellsanläggning och batterilager med hjälp av ett smart elförbrukningssystem. Då en solcellsanläggnings elproduktion vid vissa tidpunkter kan överstiga förbrukningen i fastigheten finns det ett överskott av energi som kan lagras i batteri för en senare användning. Detta leder till en högre egenanvändning av produktionen från solcellsanläggningen och ger fördelar då den lagrade energin kan användas vid ett senare tillfälle.

Arbetet har utförts på Rejlers AB där syftet har varit att utreda i vilken mån ett smart elförbrukningssystem kan påverka förbrukningen i fastigheter. I huvudsak har ett undersökande gjorts på hur överskottsenergi från solcellsanläggningar kan lagras i batteri för att höja egenanvändningen av produktionen samt att utreda hur batteriet kan kapa effekttoppar i fastigheten. Vidare har en analys gjorts på elkostnader med avseende på hur ett smart elförbrukningssystem kan påverka dessa avgifter.

Under arbetets gång har ett analysprogram utformats i Matlab som behandlar förbrukningsdata för fastigheter och data över solcellsproduktion över en årsperiod. Detta för att fastställa hur en solcellsanläggning och batterilager påverkar förbrukningens storlek.

Analysen som gjorts med ett program kodat i Matlab pekar på att ett smart elförbrukningssystem tillsammans med batterilager är ett effektivt sätt att ta vara på överskottsproduktion från solcellsanläggning och att därmed kapa effekttoppar. Batterilagret kan utgöra en extra buffert för ett högre effektuttag vid till exempel elbilsladdning. Dock pekar denna undersökning på att den ekonomiska lönsamheten är sparsam i att ta vara på överskottet av solcellsproduktionen och kapandet av effekttoppar.

## **Abstract**

This report investigates how electricity consumption in buildings can be affected by an interplay of solar power system and battery energy storage managed by a smart electricity consumption system. A solar power system can in some cases produce more energy than what the building is consuming, and a surplus of energy will occur that can be stored in a battery for later use. The storage of the surplus energy leads to a higher rate of self-use of the solar energy and gives the benefit of using the energy later when it is more of use.

The work has been carried out on Rejlers AB where the purpose was to investigate the use of smart electricity consumption system and its affection on consumption in buildings. The focus has been on investigating how the surplus energy of a solar system can be stored in batteries to improve the self-use of the production and examine in what rate power peaks can be shaved in buildings. Further on has an analysis on electricity costs been done to investigate how a smart electricity consumption system can impact the fees of electricity.

During the work, an analysis program has been created in Matlab that process data over electricity consumption and solar cells production over an annual period. This to simulate the affects a solar power system and battery storage has on the electricity consumption.

The analysis program done with Matlab indicates that a smart electricity consumptions system together with battery storage is an effective way to improve the self-use of the production from a solar power system and to shave power peaks. The battery storage can contribute as a buffer for when higher power is need in case of charging electric cars for instance. The investigation does not prove an economical profitability when it comes to battery storage of surplus energy and peak shaving.

# Innehåll

<b>1. INLEDNING</b> .....	1
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	1
<b>1.2 Syfte</b> .....	1
<b>1.3 Avgränsningar</b> .....	1
<b>1.4 Precisering av frågeställningen</b> .....	1
<b>2. Teoretisk bakgrund</b> .....	2
<b>2.1 Solceller</b> .....	2
<b>2.2 Solcellsanläggningar</b> .....	2
<b>2.3 Energilagring</b> .....	4
<b>2.4 Huvudsäkringar i fastigheter</b> .....	4
<b>2.5 Smart elförbrukningssystem</b> .....	5
<b>3. Metod</b> .....	6
<b>4. Ekonomi och elpris</b> .....	7
<b>4.1 Elpris</b> .....	7
<b>4.2 Ekonomiskt stöd för solcellsanläggning och energilagring</b> .....	8
<b>4.3 Använda och sälja egenproducerad solenergi</b> .....	9
<b>5. Förbrukning och solcellsproduktion</b> .....	11
<b>5.1 Fastigheters förbrukningsmönster</b> .....	11
<b>5.2 Simuleringsdata av solcellsproduktion för fastigheter med PVsol</b> .....	12
<b>6. Utformande av analysprogram för energiflöde, egenanvändning och effektkapning</b> .....	16
<b>6.1 Framtagande av energiflöde</b> .....	16
<b>6.2 Simulering av effektkapande och sammanställning av ny förbrukning</b> .....	19
<b>7. Analys av batteridimensionerings nyckeltal och effektkapande</b> .....	22
<b>7.1 Nyckeltal för egenanvändnings påverkan av batterikapacitet</b> .....	22
<b>7.2 Effektkapandet med enbart solcellsöverskott</b> .....	23
<b>7.3 Effektkapandet med fulladdat batteri från solcellsproduktion och elnät</b> .....	24
<b>7.4 Batteridimensioneringens påverkan på det maximala effektuttaget och huvudsäkringsnivå</b> .....	25
<b>8. Undersökning av kontorsfastigheten Essity-Huset</b> .....	25
<b>8.1 Batterilagret</b> .....	25
<b>8.2 Analys av överskott</b> .....	26
<b>9. Resultat av tekniska och ekonomiska fördelar</b> .....	29
<b>9.1 Sammanställning av tekniska fördelar</b> .....	29
<b>9.2 Egenanvändningens och effektkapandets ekonomiska påverkan</b> .....	29
<b>10. Diskussion</b> .....	31



<b>11. Slutsatser</b> .....	32
<b>Källor</b> .....	33
<b>Bilagor</b> .....	I
<b>Bilaga A Kod Veckoanalys</b> .....	I
<b>Bilaga B Kod Årsanalys</b> .....	VI

# 1. INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Solcellsanläggningar används idag i stor utsträckning för att sänka fastigheters elförbrukning från elnätet. Med en lokal elproduktion kan elnätet avlastas och transmissionen av mängden el sänkas. Detta bidrar till att nätet inte är lika hårt belastat vid soliga dagar och effektförluster kan undvikas då elen inte behövs transporteras över längre sträckor. Nätavgifter är bland annat baserat på faktorer som drift och underhåll av ledningar och transport av el [1] och utgör en stor del av kostnaderna utöver elpriset. Så en solcellsanläggning kan i många fall vara en bra investering för att ersätta köpt el med egenproducerad. Produktionen från solceller är fluktuerande och överskottsenergi kan förekomma då effektuttaget är lägre i fastigheten än vad som produceras. När överskottsproduktion sker matas elen i regel ut på nätet och säljs till elhandelsföretag till ett förhandlat elpris [2]. Ett alternativ till att sälja sitt överskott är att lagra energin för senare användning. Detta kan möjliggöras med ett smart elförbrukningssystem sammankopplat med lagringsmöjligheter i form av ett batteri. Genom att fördela energiflödet då produktionen är hög och förbrukningen låg kan energin lagras och urladdas för senare användning vid till exempel effekttoppar. Med en ökning av elbilar i samhället ökar även behovet av att hantera högre effektuttag i fastigheter vid elbilsaddning. Solcellsanläggningen får även en högre utnyttjandegrad av egenproduktionen genom lagring av solcellsenergi.

## 1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utreda i vilken mån ett smart förbrukningssystem kan användas för att optimera en given fastighets förbrukning från elnätet. Där huvudsakligen en undersökning av hur en solcellsanläggnings samspel med lagringsmöjlighet i form av batteri kan nyttjas för att sänka förbrukningen i fastigheter. Fokuset kommer att riktas på hur de ingående komponenterna kan dimensioneras och simuleras för att fördela fastighetens energiflöde mer effektivt och kapa effekttoppar. Vidare kommer ekonomiska incitament analyseras då effekttoppar kan kapas och energiflöde optimeras. Där möjligheten för att minska effekttariffer, sänka huvudsäkning och maximalt effektutnyttjande kommer att granskas för att se vilken påverkan detta har på elavgifter.

## 1.3 Avgränsningar

Projektet kommer inte behandla mjukvaran i systemet, utan att mer grundläggande utreda möjligheterna för att uppnå en smart modulering av energiflödet i fastigheter. Då det finns många osäkra parametrar i hur ett förbrukningsmönster och en solcellsanläggningsproduktion kan se ut kommer granskningen och simulering utgå ifrån givna scenarion.

Filerna med data över förbrukning och solcellssimulering anges i kilowattimmar förbrukade per timme. Därför är sammanställningen något förenklad och vissa antaganden kommer att göras.

## 1.4 Precisering av frågeställningen

- Hur kan ett smart system med solceller och lagringsmöjlighet nyttjas för att optimera en fastighets förbrukning från elnätet?
- Vad bör tänkas på vid dimensionering av ett batterilager?
- I vilken grad kan man ”kapa” effekttoppar och höja egenanvändning av solcellsproduktionen?

- Vilka tekniska och ekonomiska incitament finns det för att inkludera batterilagring av solcellsproduktions överskottsenergi?

## 2. Teoretisk bakgrund

I detta kapitel kommer det klargöras vad det smarta elförbrukningssystem som undersökts utgörs av. Här presenteras teori kring komponenterna i systemet för att få en tydligare förståelse av rapporten.

### 2.1 Solceller

Solceller är konstruerade av halvledarmaterial där kisel är viktigaste beståndsdel. När de exponeras för solljus blir dessa ledande och elektricitet kan genereras. Det är så kallade fotoner från solljuset som initierar processen [3]. Då fotonerna innehåller tillräckligt med energi kan halvledarmaterialet absorbera fotonen och elektroner frigörs. För att få elektroner att drivas i en krets introduceras en P-N övergång [4]. Det kan möjliggöras genom olika lager hos solcellen. Då det översta lagret som absorberar solenergi är negativt dopat kan det avskiljas mot de positivt dopade undre lagret och därmed skapa ett elektiskt fält och en potential. För att sluta kretsen så att strömmen kan flöda finns det ett ledande skikt ytterst på båda sidorna av P-N övergången.

En solcell producerar likspänning vid solljusexponering och är oftast kopplade i serie för att ge en högre och passande effekt [5].

De vanliga typerna av solceller är monokristallina, polykristallina och tunnfilm [6]. Där de kristallina är gjorda av kisel medan tunnfilm består av en blandning av olika material. Typen av solcell varierar med prestanda och kostnad, så vad som passar bäst beror på vilken typ av installation som skall utföras [6]. De olika typernas karakteristik kan presenteras enligt följande:

Tabell 1: Solcellstyper [6]

Solcellstyp:	Verkningsgrad:	Fördel:	Nackdel:
Monokristallina	15–22%	Högre prestanda	Högre kostnad
Polykristallina	15–17%	Lägre kostnad	Lägre prestanda
Tunnfilm	10–16%	Flexibel vid installation	Lägre prestanda, kan innehålla miljöfarliga ämnen

### 2.2 Solcellsanläggningar

En solcellsanläggning är ett system där flera komponenter och funktioner ingår. Dess prestanda är beroende av fysiska förutsättningar. Följande del ger en introduktion till det mest väsentliga i uppbyggnaden av systemet och de fysiska förutsättningar som gynnar solcellsproduktion.

#### 2.2.1 Solcellspaneler och strängar

En solcellspanel utgörs av flera seriekopplade solceller, detta för att producera en högre effekt. Vanligtvis består de av 36, 60 eller 72 celler. Modulerna är i sin tur serie eller parallellt kopplade beroende på installation där de bildar så kallade strängar.

Modulernas märkeffekt är framtagna under STC villkor [7]. STC står för ”Standard test condition” där testkriterierna är en solinstrålning på 1000W per kvadratmeter med en 0 gradig infallsvinkel, en solcellstemperatur på 20 °C och luftmassa med värde 1,5 AM. Genom testet erhålls märkeffekten hos solcellspanelen som anges i Watt. En normal märkeffekt på en solpanel med standardmått 1,7 x 1 meter ligger runt 300W [8]. STC är inte precist för den verkliga prestandan i drift utan är mer av ett testmått på panelerna i labbmiljö. Dock kan effektproduktionen stiga över märkeffekt vid enstaka tillfällen, vid reflektion till exempel. Men oftast är effekten som produceras lägre än märkeffekt.

Beroende på anläggning kan antalet strängar variera där väderstreck, skuggning och solsträngsoptimerare är faktorer som är avgörande. Toppeffekten hos anläggningen anges i kWp och är summan av solcellmodulernas märkeffekter.

Solsträngsoptimerare kan optimera en sträng eller enstaka modul. Detta görs genom att optimera ström och spänningsrelationen får att uppnå en optimal effektproduktion. En strängs produktion kan nämligen sjunka på grund att enbart en av modulerna är skuggade, genom att optimera delar av anläggningen begränsas påverkningen av eventuell skuggning [9]. Dock tillkommer en högre kostnad och detta gör systemet mer komplicerat.

### 2.2.2 Växelriktare

Växelriktarens huvudfunktion är att konvertera likström till växelström. Då solceller producerar likström behövs en omvandling till växelström för att uppnå kompatibilitet med elnätet och hushållsapparater. Utförandet kan vara trefas- eller enfas. Enfas används oftast vid effektnivåer lägre än 3 kW och trefas för högre effektnivåer. Växelriktaren fungerar även som en optimerare mot solcellerna för att få ut så hög effekt som möjligt. En optimeringsfunktion kallad ”Maximum Power Point Tracker” (MPPT) som fungerar på samma sätt som solsträngsoptimeraren för optimal effektproduktion. Dimensioneringen av växelriktaren baseras på den installerade solcellanläggens effekt. Då produktionen väldigt sällan är högre än toppeffekten (kWp) för anläggningen kan växelriktaren underdimensioneras något. Vad som är normalt är en dimensionering på cirka 10–20% lägre än toppeffekten för anläggningen [10]. Verkningsgraden hos växelriktare brukar ligga på kring 95% därmed är förlusten vid konvertering 5% av solcellsenergin. Växelriktaren kan utgöra den smarta enheten i system, då den är bryggan mellan likström och växelström kan en optimal fördelning av energi möjliggöras vilket kommer att ytterligare förklaras i avsnitt 2.5.1.

### 2.2.3 Fysiska förutsättningar och väderstreck för en solcellsanläggning

Den geografiska solinstrålningen anger måttet på horisontal solinstrålning på en viss yta årligen. Detta varierar geografiskt och i Sverige kan ett uppskattat till 800 – 1200 kWh/m<sup>2</sup> per år [11] [13]. Solinstrålningen ses som en förutsättning för vad solceller genererar per kvadratmeter vid visst geografiskt läge årligen.

Azumith vinkeln anger i vilket väderstreck som anläggningens moduler är riktade, vid 0° är modulerna riktade mot söder. Enligt [11] för maximal produktion så är den optimala azumith-vinkeln för en anläggning i Göteborgsregionen 5°. Dock kan det vara fördelaktigt att vinkla annorlunda vid vissa installationer eller då det ej är möjligt att verkställa den optimerade vinkeln. Lämplig lutning hos modulerna bidrar även till ökad produktion. Den optimala lutningen på moduler för maximal årsproduktion sägs ligga omkring 43° [11]. Även detta kan vara en faktor som inte går att uppnå då tak har en lutning brantare än vad som är optimalt.

Livsspann är en viktig komponent när det kommer till den ekonomiska investeringen hos anläggningen. Vad som är normalt för hur länge en solpanel håller brukar ligga på omkring

20–25 år medan växelriktaren ligger på 10–20 år [12]. En viktig aspekt att tänka på är också att verkningsgraden sjunker med tiden hos komponenterna.

## 2.3 Energilagring

Då solceller är varierande i sin produktion på grund av fysiska förutsättningar kan en överskottsproduktion ske då förbrukning i fastigheten är lägre än vad som produceras. Därför kan energilagring vara till fördel för att höja egenanvändningen av solenergin och flytta effekttoppar. Det finns många olika lagringsmetoder för att ta vara på överbliven energi. Vad som skiljer dem åt är vilken form som energin omvandlas till. Tekniken kan vara baserat på mekaniskt lager, värmelager, elektriskt lager och elektrokemiskt lager. Då det finns olika fördelar med diverse tekniker är de applicerbara vid olika tillfällen.

### 2.3.1 Litium-jonbatteri

Enligt [14] är elektrokemiska lager de mest lämpade i slutanvändarsegmentet. Där marknadsutvecklingen pekar på att litium-jon batteriet är dominerande i marknadspotential bland denna energilagerteknik [15]. Fördelen med litium-jon batteriet är de relativt låga omvandlingsförlusterna med en hög energi och effektdensitet vilket gör den passande för energilagring i fastigheter och kommer därmed utgöra den batterityp som simuleras i detta arbete.

För att sammanfatta egenskaper hos litium-jon batteriet presenteras terminologi hos batteri enligt följande:

- Kapaciteten: anges i kWh och är ett mått på mängden energi som kan lagras. Där Tesla Powerwall till exempel har en kapacitet på 13,5 kWh [16].
- C-rate: batteriets förmåga att laddas och urladdas. C-rate baseras på kapaciteten, då batteriet har C-rate = 1 med en kapacitet på 10 kWh kan in- och urladdningsförmågan maximalt stiga till 10 kW och kan därmed urladdas på en timme. Med en C-rate på 0,5 blir in- och urladdningsförmågan i stället 5 kW med samma kapacitet och kan därmed urladdas på 2 timmar.
- Verkningsgrad: anger andel av energin som kan laddas ut jämfört med vad som laddas. Verkningsgraden för litium-jon batterier ligger mellan 85 – 100 % [17].
- State of health (SOH): då batteriets kapacitet degraderas med tiden anger ”State of health” andel av nuvarande kapacitet kontra kapaciteten hos batteriet som nytt. Definitionen för livslängden för batterier är 80% SOH.
- Depth of discharge (DOD): beskriver urladdningsdjupet för batteriet. Om DOD är 100% kan hela batteriets kapacitet användas.
- Cycle life: är ett mått på hur många cykler ett batteri kan in och urladdas innan kapaciteten sjunkit till 80%.

Livsspännet på batterier kan variera från fall till fall där faktorer som temperatur, urladdningsdjup och antalet cyklar batteriet körts påverkar prestandan [15]. Garantin för batteriprodukter för fastigheter kan variera mellan 5–10 år [16][18].

Batteriet laddas och urladdas med likström så även här behövs en konvertering med en växelriktare. Här kan ett likströmsnät etableras med solcellsanläggningen.

## 2.4 Huvudsäkringar i fastigheter

Huvudsäkringens uppgift i elanläggningar är att fungera som ett skydd mot överströmmar och fel i el-centralen. Då strömmen överskrider en viss storlek utlöses säkringen så att strömmen bryts. Storleken på huvudsäkringen anges av den maximala strömmen då säkringen utlöses.

Huvudsäkring är dimensionerad så att den klarar av den belastningsström som kan antas gå i kabeln. Säkringsnivåer kan höjas och sänkas beroende på hur den faktiska elanvändningen ser ut. Detta kan göras för att undvika att säkringen utlöses om momentan elanvändning ökar eller för att sänka elnätsavgifter som baseras på storleken på säkring [19].

Då inmatning sker i 3-fas finns det en säkring per fas, dessa är i normalfallet i samma storleksordning då det strävas efter en jämnbelastning på faserna. För att uppnå en jämnare belastning fördelas de större effektuttagen därför på de olika faserna. För att beräkna vilken ström som går i faserna används formeln:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_B \cos \varphi \quad (1)$$

Där  $P$  = effektuttaget,  $U$  = huvudspänning (400V),  $I_B$  = strömmen som fasen belastas med,  $\cos \varphi$  = med effektfaktorn som antar vara 1 i detta fall.

I tabellen nedan presenteras säkringsnivåer och det maximala effektuttaget:

Tabell 2: Huvudsäkringsnivåer

Huvudsäkring:	Maximala effektuttaget säkringen klarar av:
16 A	11,04 kW
20 A	13,8 kW
25 A	17,25 kW
35 A	24,15 kW
50 A	34,5 kW
63 A	43,47 kW

Huvudsäkringen begränsar även utmatningen på nätet från solcellsanläggningen. Då utmatningen från solcellsanläggningen överstiger det maximala ström och effektuttaget för huvudsäkringen, utlöses säkringen. Det går att underdimensionera eller modulera växelriktaren till ett lägre effektuttag så att säkringen ej fränkopplar [20].

## 2.5 Smart elförbrukningssystem

Växelriktaren är bryggan mellan likströmnätet och elnätet. Då solcellsanläggningen och batteriet både är kompatibelt med likström behövs växelriktare för omvandling. I de flesta smarta förbrukningssystem är växelriktaren själva hjärnan i systemet, då den kan fördela energin mellan batterilagring, förbrukning och utmatning. Dessa kallas hybrid eller modulär växelriktare. Baserat på förutsättningar kan växelriktaren ta fördelaktiga beslut. Detta genom att samla in information ifrån systemets komponenter via mätare och genom algoritmer räkna ut hur ett energiflöde kan optimeras. Om ett överskott av energi produceras av solcellsanläggningen kan växelriktaren prioritera att ladda upp batteriet i stället för att mata ut överskott på nätet. Vid höga effektuttag vid elbilsaddning till exempel kan uttaget prioriteras av de laddade batteriet. I vanliga fall är det en systemlösning som köps ifrån ett företag med ingående komponenter som kan kopplas samman med solcellsanläggningen. Lösningarna kan skiljas åt, vissa system använder enbart en växelriktare där ett likströmsnät etableras. I andra system används flera omvandlingspunkter, där till exempel batteriet och solcellsanläggning har egna växelriktare.

Ferroamp är ett företag med bas i Sverige som tillhandahåller energi- och effektoptimeringslösningar för fastigheter. Deras system kallas Energy-hub-system och kan bestå av följande komponenter parallellt med solcellsanläggning beroende på installation [21]:

- EnergyHub-växelriktare

- Solsträngsoptimerare (SSO)
- Distributionslåda för SSO:er
- Energilager
- DC-fördelnings-skåp
- Kablage
- Brandmansbrytare

Utöver dessa komponenter kan likströmslaster även anslutas till likströmsnätet så som till exempel elbilsaddning och belysning. Fördelen med direkt anslutning till likströmslaster är bland annat att omvandlingsförluster kan undvikas och laster kan styras optimerat. Även en vehicle-2-grid lösning håller på att tas fram från olika företag där elbilen kommer att kunna anslutas till likströmsnätet i fastigheten. Där batteriet i bilen kan utnyttjas som en tillgång för reglering av förbrukning.

### 3. Metod

Utredningen kommer att utgå ifrån data över elförbrukning och simulerad solcellsproduktion som erhållits av Rejlers AB för olika typer av fastigheter. Förbrukningen kommer att analyseras över en årsperiod för att få en helhetsbild av hur ett förbrukningsmönster skiljer sig åt på årsbasis. En analys av effekttoppar, när högre och lägre förbrukning sker och vilken mängd energi som förbrukas kommer att genomföras för ett bekantande med förbrukningsmönster i fastigheter.

För att granska de ekonomiska incitamenten kommer elpris och el-abonnemang för fastigheter analyseras för att kunna identifiera lönsamheten i att ta vara på egenproducerad el kontra köpt och hur minskad förbrukning påverkar elavgifter.

Därpå kommer en undersökning av fastigheternas simulerade solcellsanläggningar göras för att se hur produktionen skiljer sig åt beroende på förutsättningar där lutning på paneler, area på tak, geografisk solinstrålning och väderstreck för anläggningen tas i beaktan. Med en analys av förbrukningsmönstret och solcellsanläggnings produktion kommer en fastighet identifieras med ett överskott i sin produktion. Där fastighetens data i sin tur kommer användas för att utforma ett analysprogram i Matlab. Ett flödesschema över programmet kommer att presenteras i avsnitt 6.1. Analysprogrammet kommer till en början att analysera överskottsproduktionen över en vecka i en fastighet, detta för att ta fram förbrukning och överskott av energi. För att enklare undersöka lagringens påverkan på energiflödet i fastigheten kommer solcellsanläggningen att förstöras något för ökad produktion. På sätt fås en tydligare bild av lagringens påverkan på förbrukningen då ett större överskott finns till befogande.

Vid ett överskott från produktionen kommer batterilagring att introduceras i programmet för att undersöka hur detta kan påverka användningen av egenproducerad energi med avseende på utmatning på nätet, lagring i batteriet samt effektkapande. Främst kommer kapacitet och uppladdning och urladdningsförmåga undersökas för batteriet i programmet.

Sedan kan ett jämförande göras mellan ett system med enbart en solcellsanläggning och ett system med solcellsanläggning och lagring. Där begrundande av hur förbrukningen påverkas kommer att fastställas för de olika systemen.

Analysprogrammet kommer utvecklas till en årsanalys genom att applicera veckoanalysen på årets alla veckor för att få en övergripande blick på förbrukningen. Med årsanalysen kan ett



utredande av fördelaktig batteridimensionering ske, där nyckeltal för egenanvändning kan presenteras. Med en fastställd batteridimensionering kan sedan effektkapandet utredas.

Med sammanställning av förbrukning, produktion och lagring kan slutligen de ekonomiska incitamenten fastställas för systemet då förbrukning kan optimeras, därmed möjligheterna för sänkning av effekttariffer, huvudsäkring och maximalt effektutnyttjande vid höjning av egenanvändning och effektkapande.

Slutligen kommer en kontorsfastighet undersökas där ett system med solcellsanläggning och batterilager nyligen satts i drift. Där verkliga data över solcellsproduktionen tillsammans med förbrukning kan appliceras i analysprogrammet för begrundande av systemets möjliggörande i effektkapande och höjning av egenanvändning.

## 4. Ekonomi och elpris

Lönsamheten för ett system är en avvägning mellan investeringen för anläggningen och kostnaden för utmatad och sparad el under produktion och modulering. Vidare kommer elpriset och ekonomin kring ett system redogöras.

### 4.1 Elpris

Priset på el för konsumenter innehåller huvudsakligen tre komponenter. Där elhandelskostnaden består av cirka 30%, elnätskostnaden för 25% och skatter och avgifter för 45% [22]. Vad som påverkar de olika komponenterna presenteras mer ingående nedan.

#### 4.1.1 Elhandelskostnad

Marknadsplatsen för elhandel i Norden heter Nord Pool. Spotpriset på el är rörligt och i direkt koppling till tillgång och efterfråga. Vad som spelar in på tillgången är förutsättningarna för generering av elektricitet. Då vattenkraft utgör en stor del av Sveriges energitillgångar är nederbörd en förutsättning som bidrar till ett billigare elpris. Även förutsättningar för kärnkraft och vindkraft påverkar elpriset. Temperaturen och kallare klimat är faktorer som driver på elanvändningen och därmed efterfrågan [23].

Eftersom mycket av produktionen sker i norra delen av landet finns det ett överskott av energi där medan i södra del är efterfrågan högre och produktionen lägre. Därför är marknaden uppdelad i fyra olika områden på grund av skillnad i tillgång och efterfråga på el. En stor del av elen transporteras nerifrån norr till söder och vad som begränsar överföringen är kapaciteten i ledningarna. Tanken med indelningen av områden är fastställa var i landet tillgången behöver höjas i form av ökad kapacitet i ledningar eller en lokalare produktion för jämvikt i tillgång och efterfråga [23].

Utöver spotpriser tillkommer det andra påslag så som elhandelsföretagets påslag, miljöpåslag, elhandelsföretagets kostnad för elcertifikat och avgifter till Svenska kraftnät och Nord Pool [24].



Figur 1: Spotpris i februari 2021 i SEK/MWh



### 4.1.2 Elnätskostnader

Nätavgifterna utgör kostnader för transport, drift och underhåll på elnätet. Det består av två delar där abonnemangsavgiften är en fast del där avgiften grundas på vilken storlek fastigheten eller villan har på sin huvudsäkring. Överföringsavgiften baseras på vilken mängd energi i kWh som överförs [25]. Nätavgiften varierar beroende på var kunden bor geografiskt. I tätort eller glesbygd.

Primärt finns det två olika abonnemang. Säkringsabonnemang och effektabonnemang. Där det mest vanligaste är säkringsabonnemang som utgörs av avgifterna som angetts ovan. Generellt är säkringsabonnemang för huvudsäkringar mellan 16–63 Ampere där avgiften ökar med storleken på säkring. Det kan även finnas ett tak på årsförbrukningen.

Effektabonnemanget beror även på storlek av säkring och mängd överförd energi men här introduceras även en avgift för maximalt effektutnyttjande. Det är huvudsakligen företag och storförbrukare som har ett sådant abonnemang. Avgiften baseras på den högsta timeffekten som tagit ut varje månad i kilowattimmar. Effektabonnemang ser ut enligt följande för given säkringsnivå 2021 [31]:

Tabell 3: Effektabonnemang Göteborgs Energi

Säkring	Abonnemang	El överföring	Effekt
≤ 63A	89 kr/mån	15,4 öre/kWh	26,8 kr/kW(h)
> 63A	525 kr/mån	7,0 öre/kWh	47,6 kr/kW(h)

### 4.1.3 Skatter och avgifter

Bland skatter och avgifter finns energiskatten, elcertifikat, moms, myndighetsavgifter och andra påslag. Dessa är politiskt beslutade skatter och avgifter.

## 4.2 Ekonomiskt stöd för solcellsanläggning och energilagring

För att stimulera utbyggnaden av solcellsanläggningar har ekonomiskt stöd getts ut till privatpersoner och företag. Detta introducerade 2005 där så mycket som 70% av installationskostnaden kunde täckas av statligt stöd. Andelen av stödet har stagnerat med åren och 2019 var andelen nere på 20% för privatpersoner och företag. Detta stöd på 20% har ersatts av en skattereduktion för grön energi vid årsskiftet 2020/2021. Skattereduktionen som bara kan utnyttjas av privatpersoner kan sammanfattas enligt följande:

Tabell 4: Skattereduktion för grön energi

Skattereduktion för:	Andel Skattereduktion [26]:
Installation av nätanslutet solcellssystem	15 %
Installation av system för lagring av egenproducerad elenergi	50 %
Installation av laddningspunkt till elfordon	50 %

Skattereduktionen ges för installation och material och har ett maxbelopp på 50 000 kr där installation och betalning skett tidigast 1 januari 2021.

För företag är ett förslag från regeringen för år 2021 under diskussion där 260 miljoner är tänkt att ges ut till kommuner och företag som står i kö för tidigare ansökan av stöd för

solcellsinstallering. Andelen stöd sägs här ligga på 10%. Sista ansökningsdagen för detta stöd var 7 juli 2020 [27].

### 4.3 Använda och sälja egenproducerad solenergi

Då produktionen av solenergi sker momentant behövs den förbrukas i fastigheten för att undvika ett överskott av energi. Två alternativ när det kommer till överskottsenergi är att antingen mata ut överskottet på nätet eller lagra energi med batteri för senare bruk. När ett överskott matas ut på nätet kan denna el generellt säljas på Nord Pool för spotpriset och fungerar då som en intäkt [28]. Det ges även en skattereduktion på utmatad energi på 0,60 öre/kWh [29].

Då den mest lönsamma solcellselen är den som förbrukas väljas oftast en matchning av solcellsproduktionen och förbrukningen för att maximera lönsamheten [30]. De ekonomiska fördelar med solcellsanläggning och utmatning på nätet kan sammanfattas enligt följande:

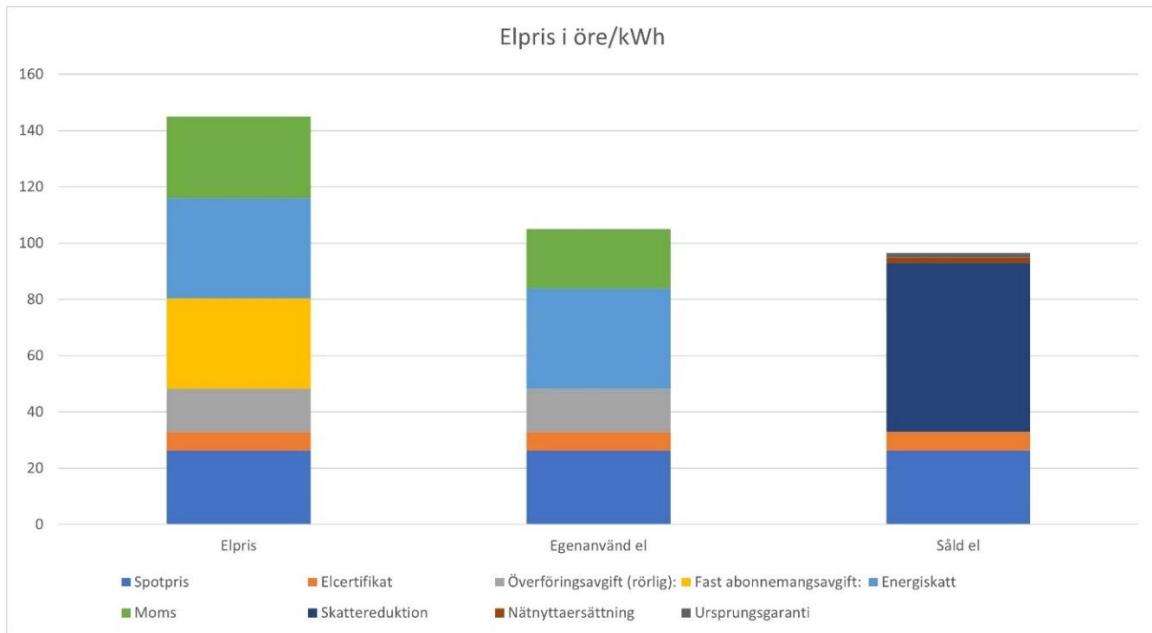
- Egenanvänd solcellsenergi, värdet motsvarar den el som annars skulle köpts där det ingående komponenterna är: elpris, den rörliga avgiften för nätavgift, elcertifikatavgift, moms och skatt.
- Sälja överskott, överskottet kan oftast säljas till det aktuella spotpriset. För utmatning erhålls en skattereduktion på 60 öre per kWh utmatad på nätet med ett maxbelopp på 18 000 kr per år, motsvarande 30 000 kWh. För att kunna erhålla skattereduktion behövs en säkring på mindre än 100 A och att ens uttag ifrån elnätet är större än solcellsproduktionen.
- Nätnyttaersättning, då produktionen är lokal kan energiförluster undvikas och därmed betalas en ersättning på några öre/kWh.
- För de producenter som inte överstiger 500 kW i installerad effekt kan energiskatten undvikas för den solcellsenergi som förbrukas.
- Elcertifikat kan sökas av de som producerar förnybar energi. Certifikat ges för varje MWh som produceras, dessa säljs i sin tur baserat på tillgång och efterfråga. Som producent behövs en ansökan för elcertifikat hos Energimyndigheten. Certifikaten ges ut över 15 år maximalt [28]. Ett exempel på kostnaden för ett elcertifikat var vecka 4 2020 21 kr/MWh medan priset samma vecka 2021 låg på 2 kr/MWh [33].
- Ursprungsgaranti fungerar som en validering på elens ursprung. På så sätt kan slutkunden veta var elen kommer ifrån. Detta är en elektronisk handling som kan köpas och säljas på en öppen marknad. Som producent kan en ansökan för ursprungsgaranti göras hos staten för att senare säljas per producerad MWh baserat på tillgång och efterfråga.

Ekonomiska incitament för att introducera smart elförbrukning:

- Får en högre utnyttjandegrad av egen produktion, samma fördel som egenanvänd solcellsenergi som dock bör vägas mot vad det sålda överskott hade inbringat.
- Sänkning av huvudsäkringsavgift. Batteriurladdning vid hög förbrukning.
- Reducering av kostnad för effektabonnemang där maxeffektuttaget utgör en kostnad och kan påverkas genom kapning av effektoppar.
- Undvikande av nätinvesteringar, ifall ett högre uttag krävs och ledningar behövs uppgraderas kan batteriet bidra med kapaciteten som saknas.
- Styra laster till tider på dygnet när spotpriset är lägre, till exempel elbilsladdning.

Nedanför presenteras värdet på köpt, egenproducerad och såld el och dess komponenters värde. Här är det förutsatt att en skattereduktion ges för utmatning och inga kostnadsreduktioner från smart förbrukning i egenanvändningssyftet.

Tabell 5: Värdet på el, källor presenteras i tabell 6



Tabell 6: Komponenter och totalt värde

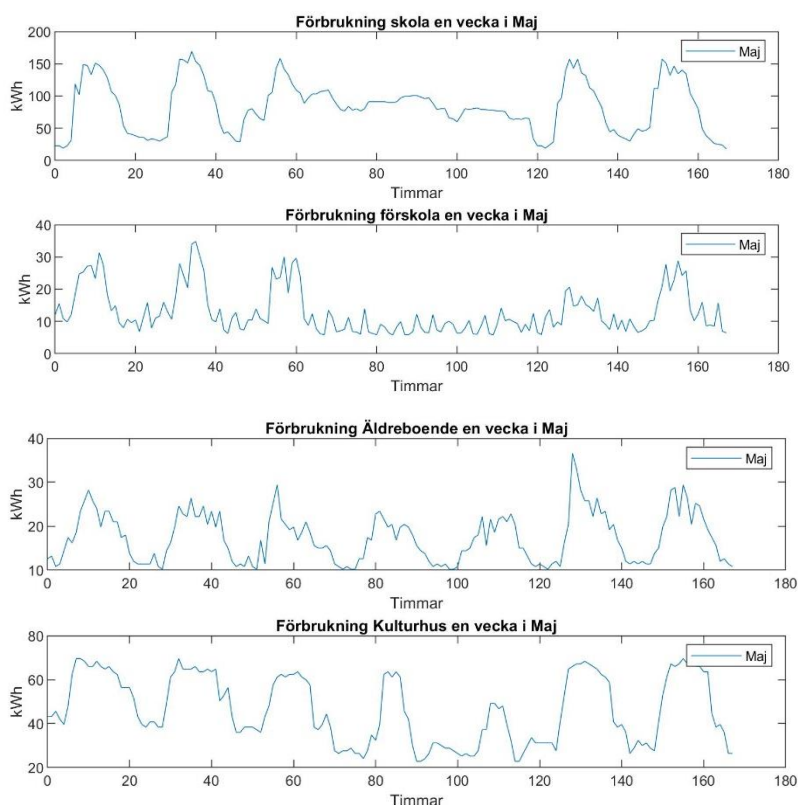
	Elpris i öre/kWh	Egenanvänd el i öre/kWh	Såld el i öre/kWh	Kommentar
Spotpris, område 3:	26,2	26,2	26,2	Snittpris 2020 [32]
Elcertifikat:	6,75	6,75	6,75	Snittpris 2020 [33]
Överföringsavgift (rörlig):	15,4	15,4	--	Avgift för 2021 [31]
Fast abonnemangsavgift:	32	--	--	Avgift för 2021 [31]
Energiskatt:	35,6	35,6	--	[34]
Moms:	28,98	20,98	--	25 %
Skattereduktion:	--	--	60	[26]
Nätnyttaersättning:	--	--	2	[35]
Ursprungsgaranti:	--	--	1,5	[36]
Totalt värde:	144,93 öre/kWh	104,93 öre/kWh	96,45 öre/kWh	

## 5. Förbrukning och solcellsproduktion

I detta kapitel presenteras den data som tillhandhållits ifrån Rejlers AB som utredningen till stor del baserats på. Detta med fokus på olika fastigheters förbrukning och simulerad solcellsproduktion. Här identifieras även en förbrukningsprofil som kommer användas som underlag för utformning av ett analysprogram.

### 5.1 Fastigheters förbrukningsmönster

Förbrukningsdata som tagits del av är mätningar över ett år i förbrukade kilowattimmar per timme på olika fastighetsprofiler. Den data som använts har erhållits ifrån ett projekt på Rejlers AB där ett antal fastigheter har genomgått en undersökning av möjlighöret av implementering av solcellsanläggningar. Där ett undersökande gjorts på olika typer av fastigheter för att utreda hur förbrukningsmönster och solcellsproduktionsmönster kan matchas. Energianvändningen är varierande på årsbasis [37] där förutsättningar som spelar in är utomhustemperatur, uppvärmning och vad för typ av verksamhet som bedrivs i fastigheten. För att undersöka vilken dimensionering av anläggning och system som är fördelaktigt är en analys av fastighetens förbrukningsmönster gynnsamt att utgå ifrån. Då förbrukningsmönsterna skiljes åt baserat på verksamhet och ändamål kan det vara viktigt att utreda hur effektuttaget kan matchas av en solcellsanläggning för att undvika en allt för stor överproduktion. Med avseende på lönsamhet dimensioneras ofta solcellsanläggningar så att förbrukningsmönstret täcks till så stor del som möjligt utan för mycket överskottsproduktion. Genom en sammanställning av data i Matlab över olika fastighets-typer presenteras förbrukningsprofilerna i grafform nedan. Detta över en vecka på fyra utvalda profiler för att begrunda hur en solcellsanläggning kan påverka förbrukningen. Förbrukningen är över en skola, en förskola, ett äldreboende och ett kulturhus ifrån undersökningen av implementering av solcellsanläggning.



Figur 2: Förbrukningsmönster för olika fastigheter

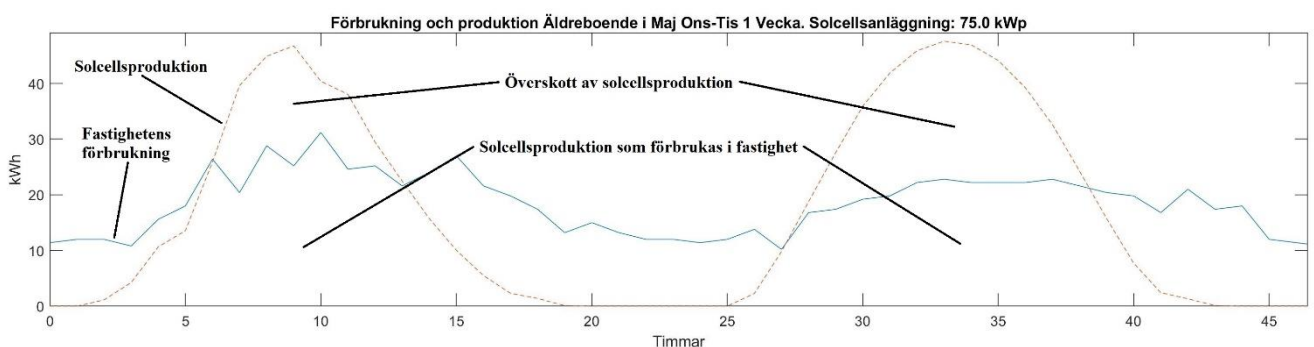
Det går att utläsa från graferna att förbrukningen är väldigt varierande över dygnet och att det finns tydliga effekttoppar. Då förbrukningens toppar i dessa profiler sker i hög utsträckning under soltimmar kan en matchning av en solcellsproduktion reducera förbrukningen till stor del. Dock är förbrukningen fortsatt hög under kvällen då solcellsproduktionen i regel är låg.

Skolan och förskolan har tydligt lägre förbrukning över helger då ingen verksamhet drivs. Därför kommer undersökningens fokus vidare läggas på äldreboendet och kulturhus där förbrukningsmönster är mer regelbunden över hela veckan.

## 5.2 Simuleringsdata av solcellsproduktion för fastigheter med PVsol

Solcellsanläggningssimuleringar som tagits del av har gjorts för fastigheterna med programmet PVsol. Programmet behandlar anläggningens geografiska placering och baserar produktionen på förutsättningar för geografisk solinstrålning och temperatur. Vidare kan anläggningens storlek och typ av solpaneler anges tillsammans med lutning på paneler och azimuth vinkel för anläggningen. På så sätt kan ett uppskattat värde av produktion presenteras över ett år och ett jämförande av producerade kontra förbrukade kilowattimmar göras på timbasis. I data-filen över produktionen som tagits del av i undersökning av Rejlers AB har simuleringar för fastigheter gjorts med avseende på takens storlek och förbrukning. Detta med en prioritering av en hög egenanvändningsgrad.

I figur 3 ges ett exempel på hur en total förbrukning i en fastighet kan se ut över två dygn. Samt hur produktionen från solcellsanläggningen kan förbrukas i fastigheten eller då en överskottsproduktion sker.

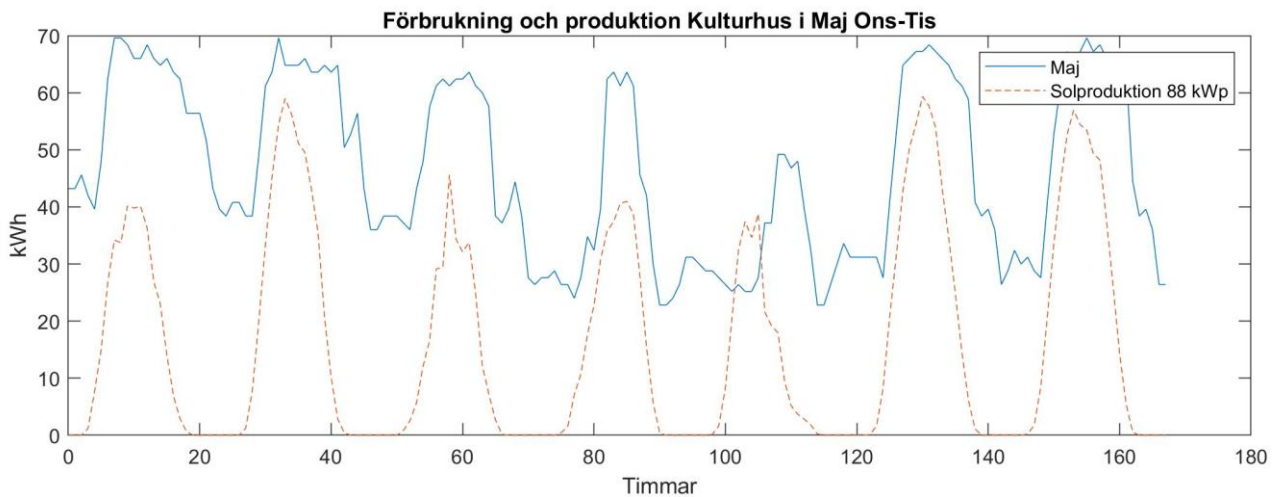


Figur 3: Förtydliggörande av vad som går att utläsa från graferna med förbrukning och solcellsproduktion över två dygn i en fastighet

Simuleringen för ett kulturhus och äldreboende gjordes med följande inställningar med graf för visualisering över en vecka med förbrukningen:

Tabell 7: Simulerad solcellsanläggning för ett kulturhus

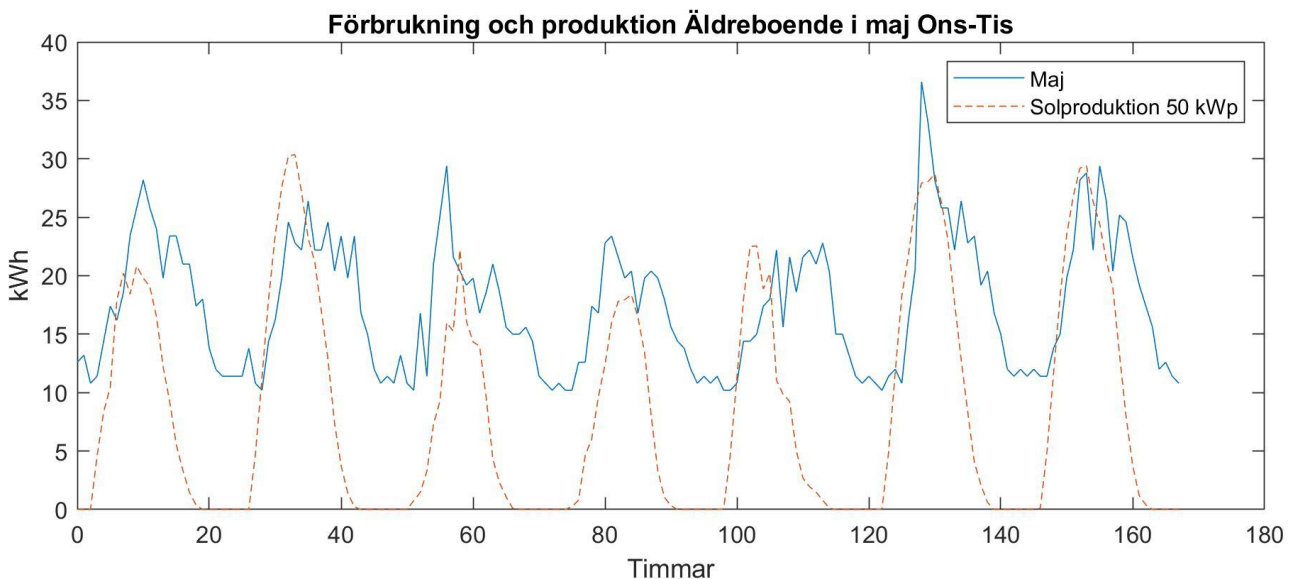
Solcellsanläggning för kulturhus:	
Installerad effekt:	88 kWp
Geografiska solinstrålningen:	1323.82 kWh/m <sup>2</sup> (ERA-5) [38]
Azumith-vinkel:	14 grader
Lutning på panel:	10 grader
Typ av panel:	Kristallina



Figur 4: Solcellsproduktionen kontra förbrukning över en vecka för ett kulturhus

Tabell 8: Simulerad solcellsanläggning för äldreboende

Solcellsanläggning för Äldreboende:	
Installerad effekt:	50 kWp
Geografiska solinstrålningen:	1323.82 kWh/m <sup>2</sup> (ERA-5) [38]
Azumith-vinkel:	-90 grader
Lutning på panel:	11 grader
Typ av panel:	Kristallina



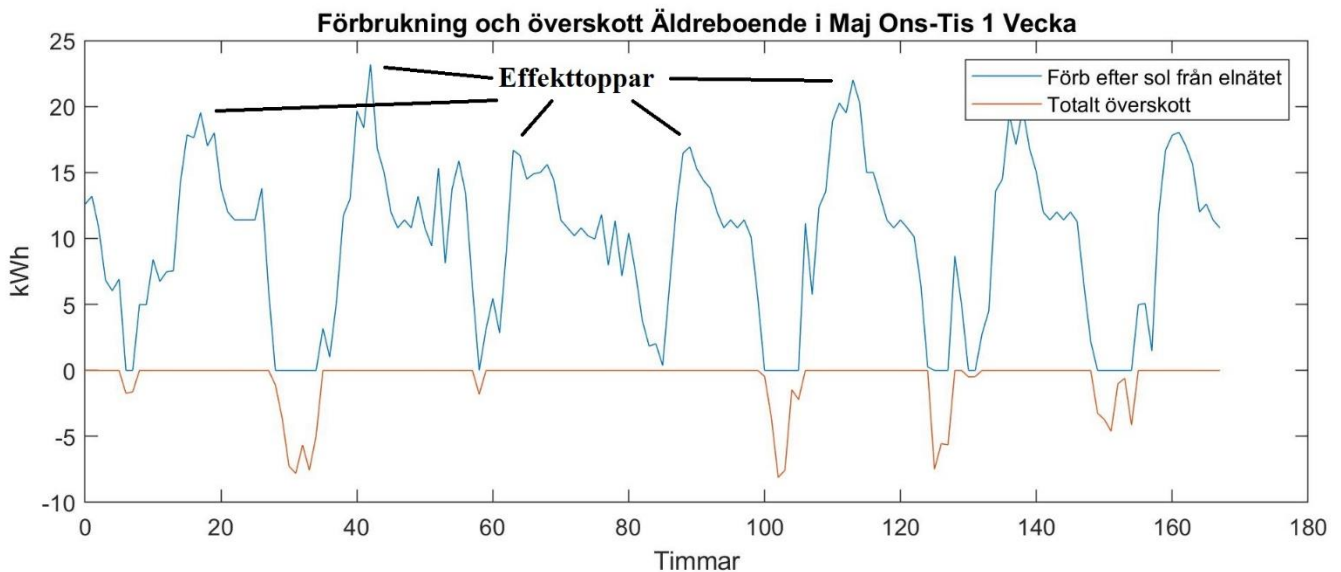
Figur 5: Solcellsproduktionen kontra förbrukning över en vecka i maj för ett äldreboende

Med data över simulerade solcellsanläggningar baserat på fastigheternas förutsättningar kan ett undersöksobjekt fastställas där en överskottsproduktion sker. Då kulturhuset hade ett sparsamt överskott utnyttjas äldreboendet för att utforma ett analysprogram för att undersöka fördelningen av förbrukning och överskott för ett smart elförbrukningssystem.

Eftersom solcellproduktionens för äldreboendet överstiger förbrukning vid det soligaste timmarna sker ett överskott av energi nästan varje dygn i veckan. Vidare kommer detta överskott begrundas för en förmånlig fördelning där möjlig utmatning på nät och lagring i



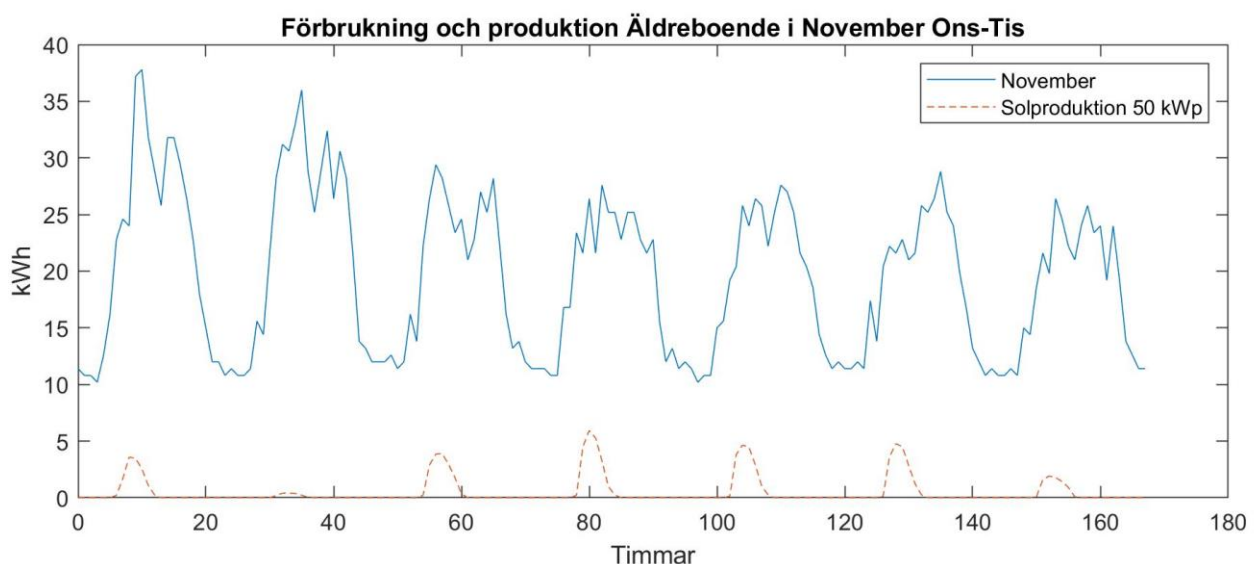
batteri kommer att fastställas. En sammanställning av förbrukningen och överskott efter solcellsproduktion ser ut enligt följande för äldreboendet:



Figur 6: Förbrukning och överskott efter solcellsproduktion

Det sker dock en relativt bra matchning av förbrukningen och solcellsproduktionen, då solcellsproduktionen är som högst då fastigheten förbrukar som mest blir överskottet begränsat av storleken på anläggningen. Detta medför att egenanvändningen för denna profil fortfarande är hög och därför kommer en förstoring av produktionen ske för att aktualisera batterilagring. På så sätt kan nyckeltal för lagringens nytta enklare tas fram och analyseras. För vidare analys kommer solcellsanläggningarna förstoras till en storlek baserat på takförutsättningarna. Effekttopparna för effektkapning med batterilager är belysta i figur 6.

För att få en idé av hur förbrukningen och produktionen skiljer sig åt för olika veckor på året presenteras också en vecka i november nedan för äldreboendet:



Figur 7: Solcellsproduktionen kontra förbrukning över en vecka i november för ett äldreboende

Med en sammanställning av förbrukningen efter solcellsproduktionen lokaliseras effekttopparna. Där överskottet kan ses som en tillgång för kapning av effekttoppar. Vidare kommer även en analys av hur ett överskott kan utnyttjas baserat på batterilagring och

utmatning på nätet utföras. Då kapaciteten och in- och urladdningsförmågan för batteriet är avgörande för hur mycket av överskottet som går att lagra kommer egenskaper för batteri undersökas för höjning av egenanvändning och effektkapande.

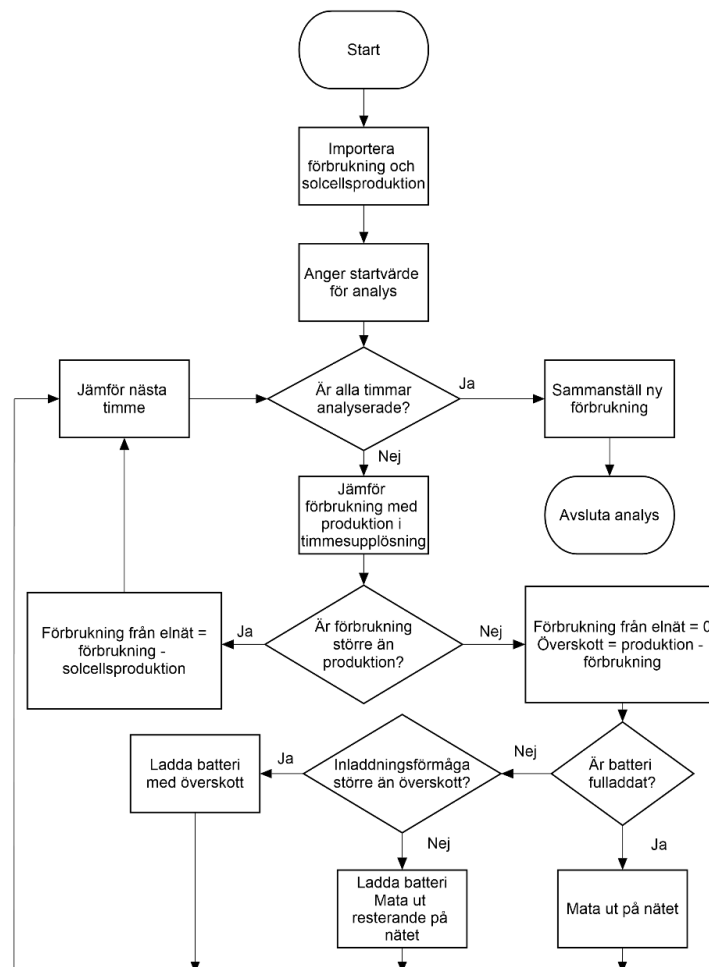


## 6. Utformande av analysprogram för energiflöde, egenanvändning och effektkapning

I detta kapitel presenteras de två olika delarna av analysprogrammet som kodats. Programmet är utformat i Matlab och baseras på hur överskottsenergin i fastigheterna kan tas vara på genom batterilagring. Här antas att ett modulärt system där solceller och batterilager är applicerat i ett likströmsnät på fastigheten. I grunden utför programmet ett jämförande mellan producerade och förbrukade kilowattimmar för en fastställning av lagring kontra utmatning på nätet. På så sätt fås en idé av hur egenanvändningen påverkas av olika dimensioneringar av batteriet. Egenskaperna för batteriet som främst undersöks är kapacitet i kWh och in- och urladdning förmåga i kW.

### 6.1 Framtagande av energiflöde

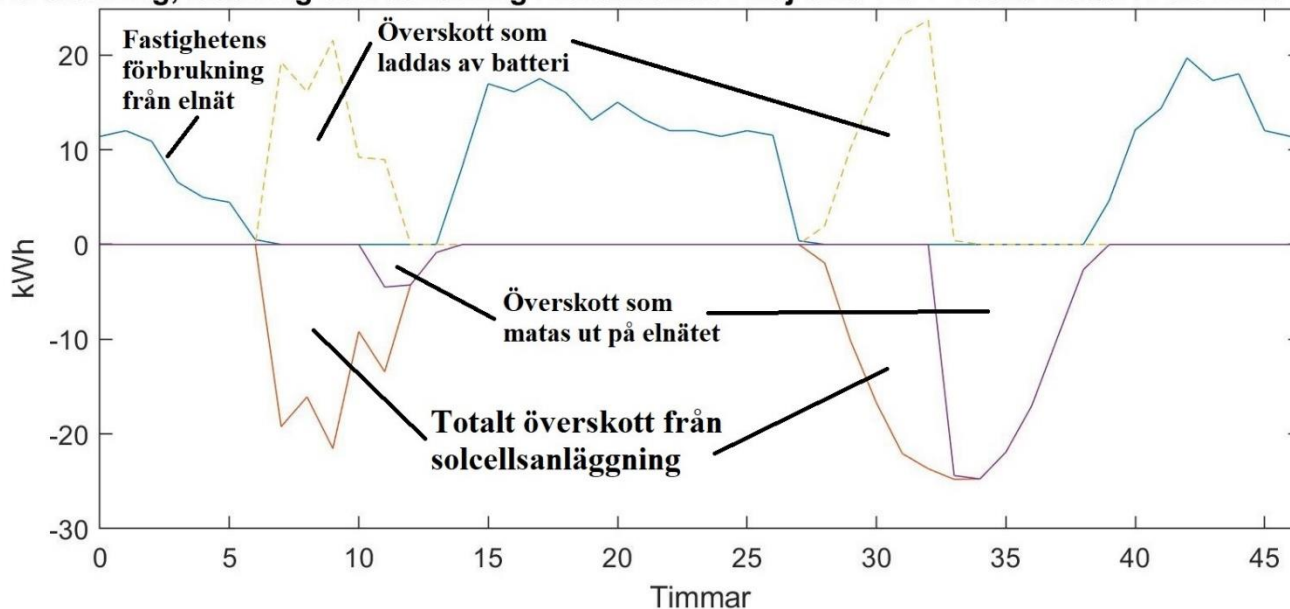
Första delen av programmet tar fram energiflödet i fastigheten, där det går att utläsa den totala förbrukningen för fastigheten och den totala solcellsproduktionen. När det sker ett överskott kan inte fastigheten ta vara på all produktion i förbrukningssyfte. Därmed kan en batterilagring introduceras alternativt en utmatning. Programmet jämför timvis skillnaden mellan produktion och förbrukning för att ta fram överskottet. Överskottet begrundas i sin för laddning av batteri eller utmatning på nätet baserat på storlek på överskottet kontra batteriets kapacitet och inladdningsförmåga. När batteriets kapacitet är fulladdat eller inladdningsförmågan är överskriden, sker en utmatning på elnätet.



Figur 8: Flödesschema för analysprogram av energiflöde

Programmet utgår ifrån importerade excel-filer för förbrukning och solcellsproduktion och går att applicera på olika data över fastigheter och simuleringar. I detta analysprogram utgår simuleringarna ifrån förstörade anläggningar där storlek baseras på takets förutsättningar för fastigheterna. Detta för att få ett större överskott av energi för en bättre analys. Ett förtydligande av vad som går att utläsa i kommande grafer görs i figuren nedan:

### Förbrukning, laddning och utmatning Äldreboende i Maj Ons-Tis 1 Vecka Batteri 75.0 kWh/ 35.0 kW



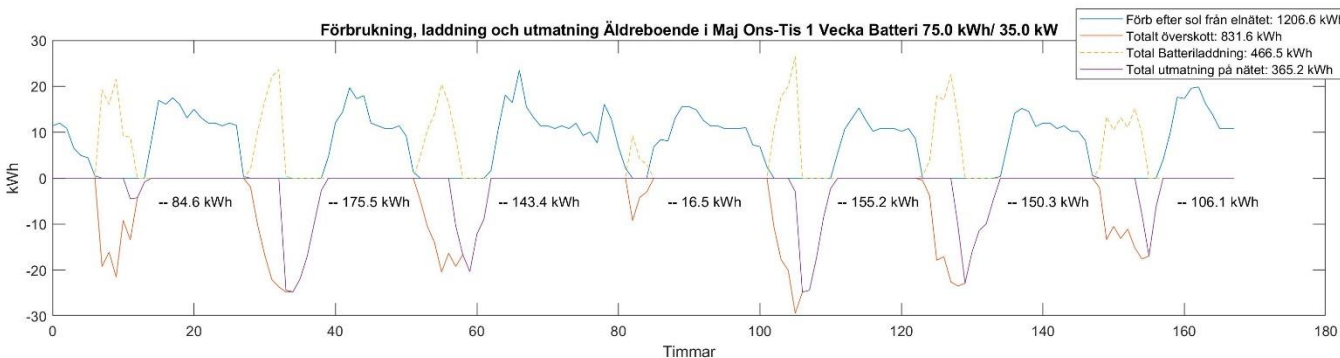
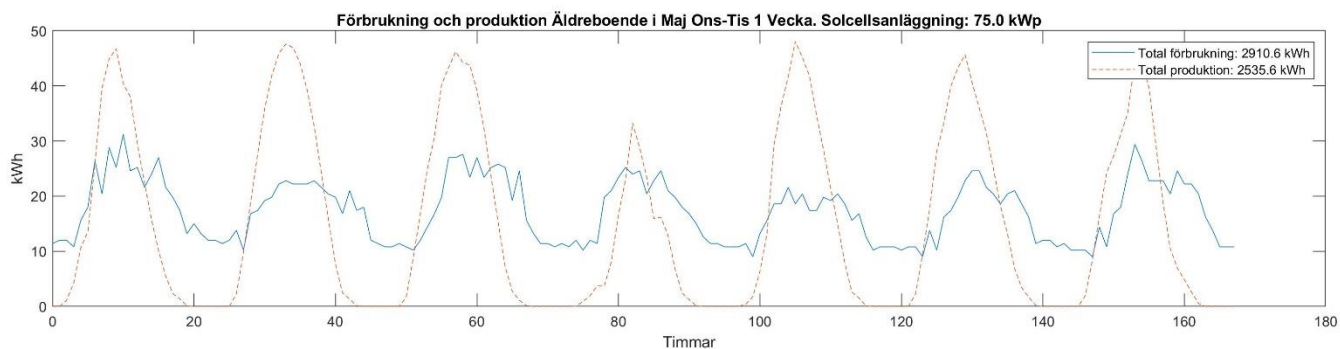
Figur 9: Förtydliggörande av vad som går att utläsa från graferna med förbrukning, laddning och utmatning över två dygn i en fastighet

Utformandet av programmet har utgått ifrån en fastighet med inställningar för solcellsanläggning och batterilagring enligt tabellen nedan:

Tabell 9: Analysinställningar för solcellsanläggning och batteri

Analysinställning:	Äldreboendet:
Installerad effekt för solcellsanläggning:	75 kWp
Batterikapacitet:	75 kWh
C-rate (In- och urladdningsförmåga):	0,47 (35kW)

I första steget har en veckoanalys gjorts för begründande och validerande av ett adekvat program. Sedan har programmet utvecklats till en månads och årsanalys för en större överblick av hur förbrukningen påverkas av ett samspel mellan en solcellsanläggning och batterilagring. Analysen för äldreboendet en vecka i maj med förbrukning och solcellsproduktion visualiseras i grafen nedan:

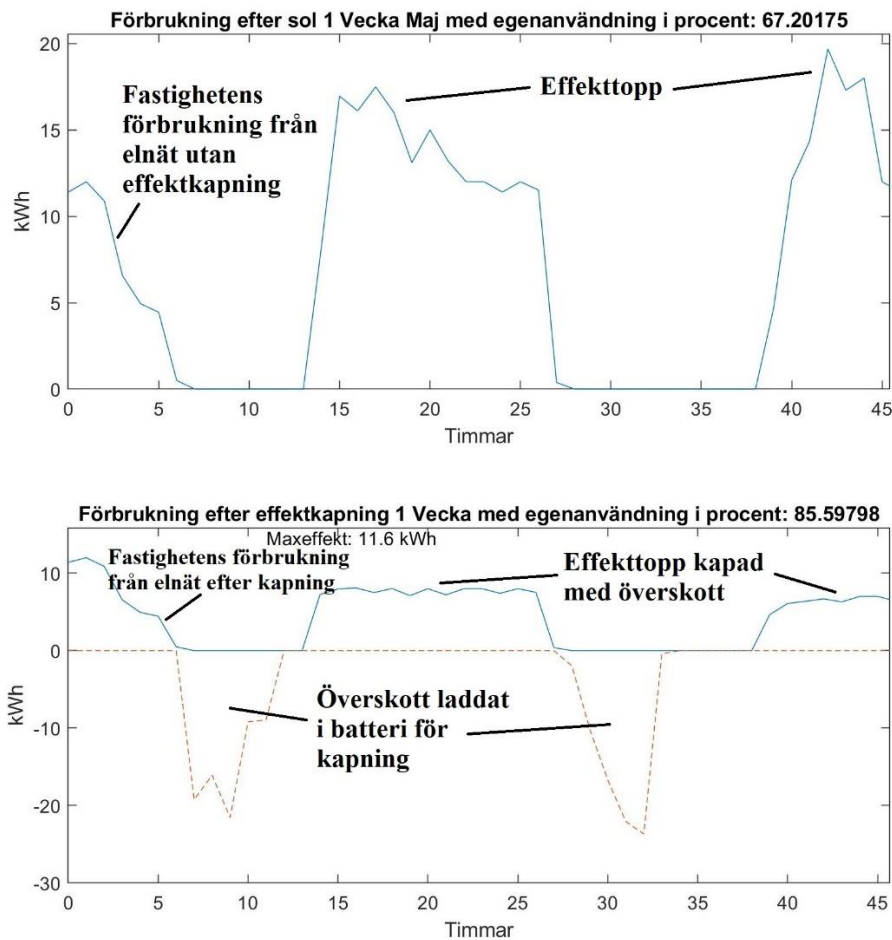


Figur 10: Analys av överskott, batteriladdning och utmatning

I Figur 10 kan ett jämförande göras mellan hur förbrukningen hade sett ut utan och med en solcellsanläggning. Förbrukningskurvan (blå) i första grafen motsvarar förbrukningen från elnätet utan en solcellsanläggning. Förbrukningskurvan (blå) i andra grafen motsvarar förbrukningen med en solcellsanläggning. Här tas dagsöverskottet fram och fastställer hur batteriladdningen kan ta vara på överskottet. Då överskottet överskrider batterikapaciteten eller c-rate matas resterande överskott ut på nätet. Här görs även en veckosummering på förbrukning efter solcellsproduktion, totalt överskott, total batteriladdning och total utmatning på nätet.

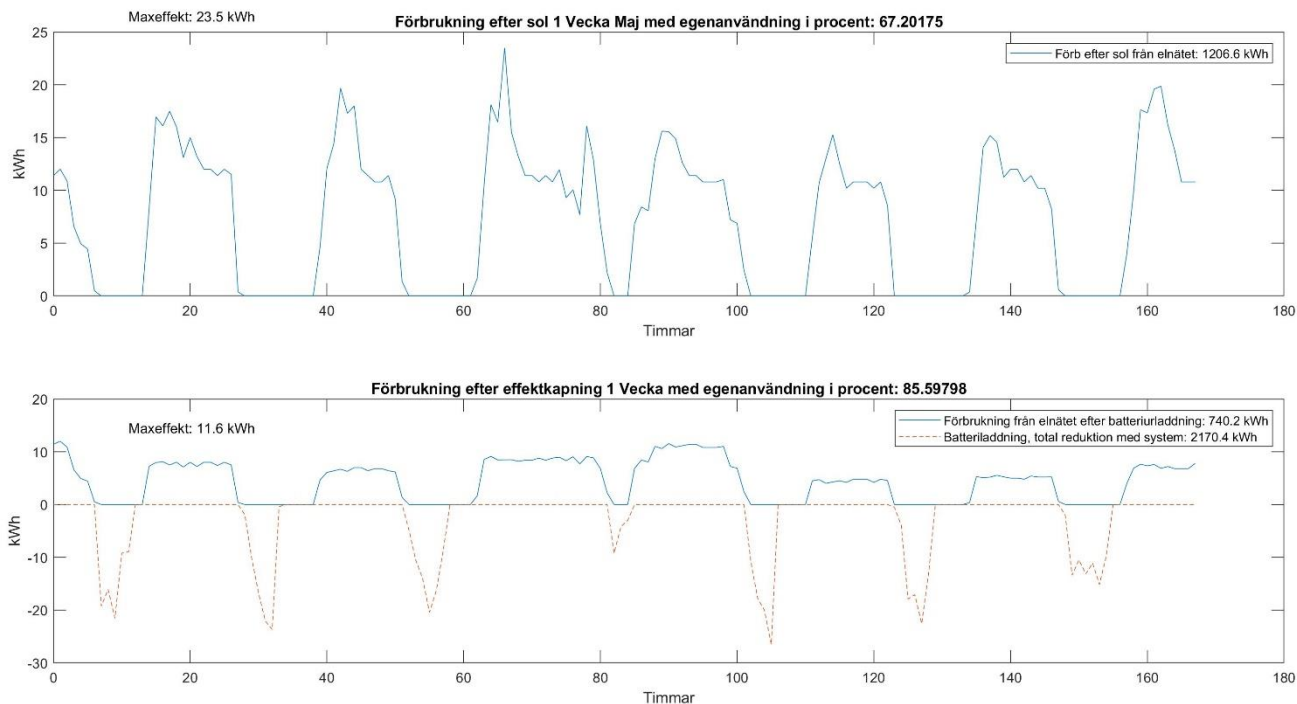
## 6.2 Simulering av effektkapande och sammanställning av ny förbrukning

Nästa del av programmet undersöker hur effektkapandet kan möjliggöras med den tillgängliga energimängden från batteriladdningen och hur detta påverkar förbrukningsmönstret och egenanvändningen. Effektkapandet sker genom ett framtagande av de toppar som är högst under dygnet för att sedan kapa dessa tills den tillgängliga kapaciteten i batteriet är slut. Det går även att modifiera programmet så att batterikapaciteten laddas upp varje dygn då förbrukningen är som lägst i fastigheten. Därpå kan maxeffekten över veckan tas fram med och utan effektkapande. Figur 11 visualiserar hur förbrukningen från elnätet påverkas av effektkapning. Första grafen markerar effekttopparna och hur förbrukningen ser ut utan effektkapning. Andra grafen i figuren demonstrerar hur överskottet kan laddas i batteri och hur effektkapandet med det laddade överskottet påverkar förbrukningen från elnätet genom att kapa effekttoppar.



Figur 11: Förtydliggörande av vad som går att utläsa från graferna av effektkapning

I kommande figur 12 visar graferna förbrukningen över en veckoperiod. Första grafen visa hur förbrukningen ser ut med enbart en solcellsanläggning där överskottet matas ut på elnätet. Andra grafen visualiserar hur effektkapandet påverkar förbrukningen med de angivna batteriegenskaperna. Batteriladdning möjliggör en "förflyttning" av energimängden till en tid på dygnet när förbrukning är som högst.



Figur 12: Effektkapandet med batterilagring från solcellsproduktion

Vad som kan utläsas från figurerna 10 och 12 presenteras i tabellen nedan över veckoperioden för äldreboendet:

Tabell 10: Sammanställning av Veckoanalys från Figur 10 och 12

Veckoanalys för system:	Enbart solcellsanläggning 75 kWp:	Solcellsanläggning 75 kWp med batteri 75 kWh/35 kW:
Total förbrukning:	2910.6 kWh	2910.6 kWh
Solcellsproduktion:	2535.6 kWh	2535.6 kWh
Förbrukning från elnätet med system:	1206.6 kWh	740.2 kWh
Egenanvändning av solcellsproduktionen:	67,2%	85,6%
Högsta kWh förbrukad:	23.5 kWh	11.6 kWh
Total utmatning:	831.6 kWh	365.2 kWh
Självförsörjning:	58,5%	74,5%

Veckoanalysen har i sin tur appliceras på alla årets veckor för en årsanalys av förbrukningen och egenanvändning. Resultatet för årsanalysen presenteras nedan för äldreboendet:

Tabell 11: Sammanställning av årsanalys

Årsanalys äldreboende för system:	Enbart solcellsanläggning 75 kWp:	Solcellsanläggning 75 kWp med batteri 75 kWh/35 kW:
Total förbrukning:	159 154 kWh	159 154 kWh
Solcellsproduktion:	57 614 kWh	57 614 kWh

Förbrukning från elnätet med system:	112 933 kWh	104 168 kWh
Egenanvändning av solcellsproduktionen:	80,02 %	95,44 %
Total reduktion av maximalt effektutnyttjande:	0 kWh	22,52 kWh
Total utmatning:	11 393 kWh	2628 kWh
Självförsörjning:	29 %	34,5 %
Lagrad kWh i batteriet per lagringskapacitet:	--	116,87

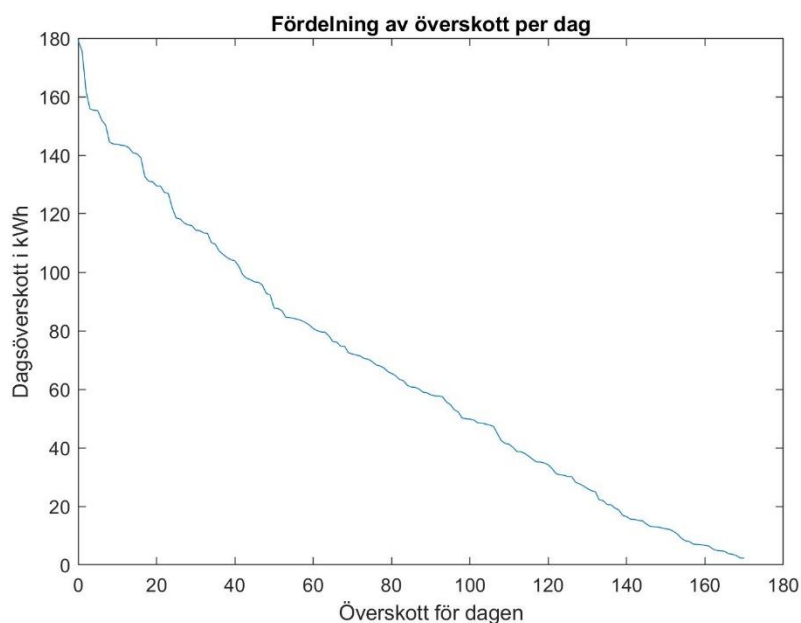
Av sammanställningen går det att utläsa hur förbrukningen från elnätet har kunnat reduceras med ett batterilager jämfört med ett system utan. På årsbasis kunde förbrukningen från elnätet minska med 8765 kWh. Egenanvändningen av solcellsproduktionen kunde öka med 15,42 procentenheter och självförsörjandegraden i fastigheten höjdes från 29% utan batterilager till 34,5% med batterilager. Effektkapandets påverkan på totala reduktionen av maximalt effektutnyttjande uppgick till 22,52 kWh över en årsperiod med ett batterilager på 75 kWh.

## 7. Analys av batteridimensionerings nyckeltal och effektkapande

Med hjälp av analysprogrammet kan nyckeltal tas fram för batterilagring för att kunna fastställa vilka parametrar som är väsentliga och hur man bör resonera kring vad som är en fördelaktig dimensionering av batterilagret. Främst kommer egenanvändningen och effektkapandet undersökas för olika batteridimensioneringar i detta kapitel.

### 7.1 Nyckeltal för egenanvändnings påverkan av batterikapacitet

Då överskottet kan skilja sig åt från dag till dag har en undersökning gjorts på hur egenanvändningen kan påverkas av olika dimensioneringar av batteristorlek. I de fall dimensionering görs för att uppnå en 100% egenanvändning av solcellsproduktionen behöver dimensioneringen utgå ifrån det högsta överskottet som sker över året. Eftersom ett överskott i den storleken inträffar väldigt sällan blir batteriets kapacitet i viss mån outnyttjad. Ett nyckeltal som tidigare har använts i rapporter [39] inom området är batterikapaciteten delat med den installerade effekten hos solcellsanläggningen kWhbat/kWpsol i förhållande till egenanvändningen. Då det förekommer en mättnad i förhållandet mellan ökad batteridimensionering och egenanvändning kan det vara fördelaktigt att dimensionera utifrån det förhållandet mellan kWhbat/kWpsol. Detta för att undvika att en alltför stor del av batteriet blir outnyttjad då mindre överskott sker i större utsträckning. Grafen visualiserar hur ofta ett överskott i viss magnitud sker med en solcellsanläggning på 75 kWp. Det går att utläsa att ett överskott förekommer 170 av dagar på året och det maximala dagsöverskottet är 180 kWh.

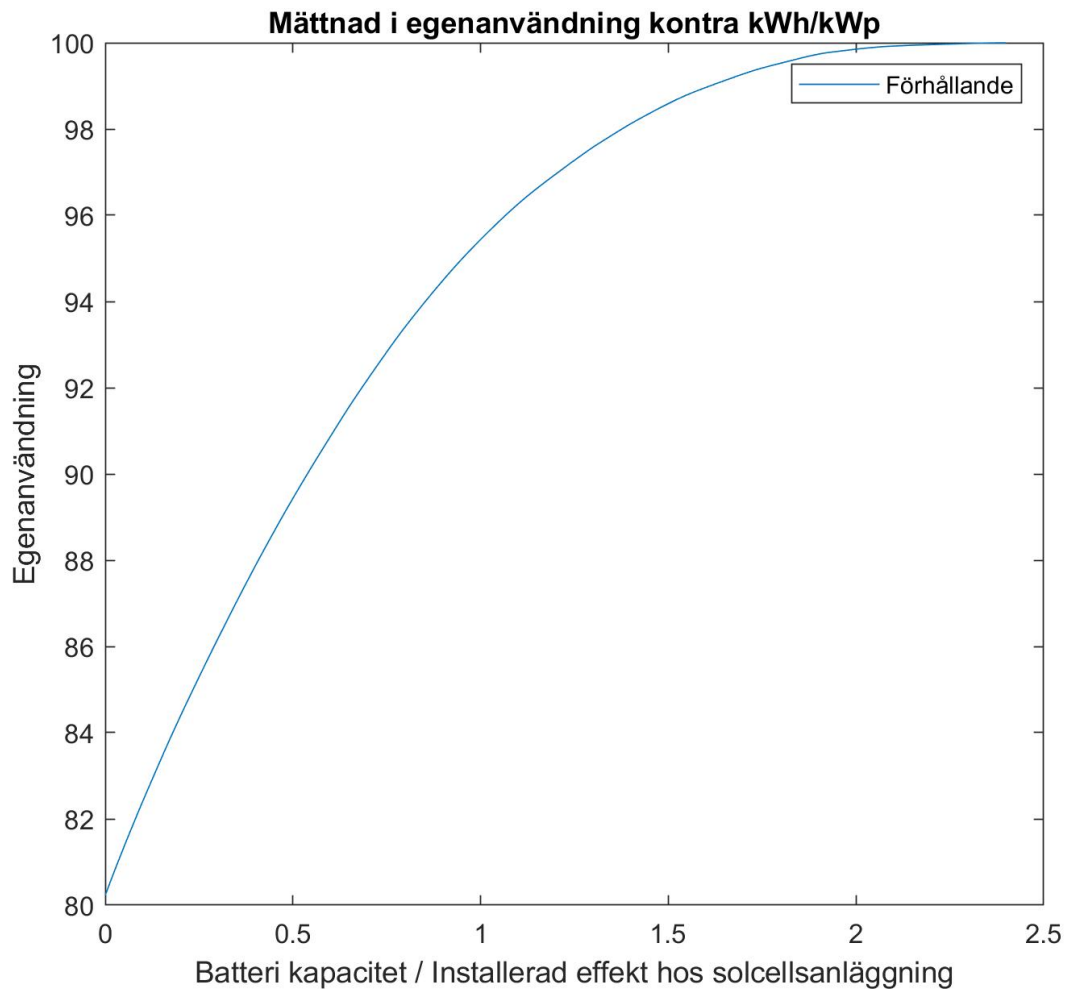


Figur 13: Fördelning av dagsöverskottet

För en analys av nyckeltalet kWhbat/kWpsol har en årsanalys gjorts för äldreboendets förbrukning och solcellsanläggning där ett succesivt ökande av batterikapacitet har gjorts för att se hur detta påverkar egenanvändning för solcellsanläggning. Inställningar för simulering anges i tabellen och visualiseras i figuren nedan:

Tabell 12: Simuleringsinställningar

Simuleringsinställning:	
Batterikapacitetsspän (kWhbat):	0–150 kWh
Installerad effekt hos solcellsanläggning (kWpsol):	75 kWp



Figur 14: Nyckeltalet kWhbat/kWsol påverkan på egenanvändning

Egenanvändningen ökar mellan 0–1 kWhbat/kWsol med 15,6 procentenheter. Från 1–2 kWhbat/kWsol sker en ökning på 4,4 procentenheter. Det krävs därmed en dubbel ökning av batteriets kapacitet för att uppnå dessa extra 4,4 procent. Detta för att uppnå 100 % egenanvändning.

## 7.2 Effektkapandet med enbart solcellsöverskott

Grundtanken för effektkapande med batterilagring är att använda den lagrade energin då förbrukningen är som högst på dygnet. Genom ett modulerande elförbrukningssystem kan batteriet urladdas med den tillgängliga energin då förbrukningen är högre än en angiven förbrukningsgränsen. Programmet i detta arbete är utformat så att de högsta topparna kapas med den effekt som laddats av solcellsproduktionens överskott. Kapandet begränsas av urladdningsförmågan i batteriet. Men utöver det är programmet väldigt optimerat och tar ingen hänsyn till osäkra parametrar vid förbrukning och produktion som annars ett verkligt system hade fått göra. För att presentera hur batterikapaciteten påverkar den maximala kilowattimmen som tagits ut på en månad, har simuleringar gjorts för ett system med och utan batterilagring. Solcellanläggningen har en installerad effekt på 75 kWp och en batterikapacitet på 75 kWh. Månaderna som en reduktion möjliggjorts presenteras nedan i tabellen:



Tabell 13: Effektkapande med solcellsenergi

Månad:	Högsta förbrukade kilowattimme utan effektkapning:	Högsta förbrukade kilowattimme med effektkapning:	Reduktion av högsta effekttopp:
April	25,8 kWh	22,75 kWh	2,8 kWh
Maj	24,44 kWh	20,9 kWh	3,54 kWh
Juni	23,87 kWh	17,68 kWh	6,19 kWh
Juli	23,19 kWh	22,6 kWh	0,6 kWh
Augusti	24,16 kWh	22,74 kWh	1,41 kWh
September	34,92 kWh	26,93 kWh	7,99 kWh
		Summa av reducerade effekttoppar:	22,52 kWh

Effektkapandet påverkar det maximala effektutnyttjandet endast 6 av årets 12 månader. Då kapandet endast sker med hjälp av lagrad solcellsenergi finns det inte tillgänglig energi för att kapa de toppar som är högst för resterande 6 månaderna. För att möjliggöra en reduktion av dessa toppar behövs en laddning ifrån elnätet för ytterligare reducering av högsta förbrukade kilowattimmen för resterande månaderna.

### 7.3 Effektkapandet med fulladdat batteri från solcellsproduktion och elnät

För att undersöka hur det maximala effektutnyttjandet kan påverkas av ett uppladdat batteri har analysprogrammet modifierats något. Genom att ladda upp batteriet då solcellsproduktionen inte möjliggör full laddning, kommer laddning ske då förbrukningen i fastigheten är som lägst. Därmed kan en full urladdning av batteriet förekomma alla dygn på året. Även här är programmet optimerat där givna scenarion utgått ifrån, följaktligen kapas det högsta topparna utan att ta hänsyn till oförutsägbarheten i förbrukning och produktion. Ett antagande görs att uppladdning sker då elpris och avgifter är som lägst under dygnet, för att undersöka lönsamheten. I denna simulering används även en 75 kWp solcellsanläggning med en batterikapacitet på 75 kWh och urladdningsförmåga 35 kW. De högsta förbrukade kilowattimmarna presenteras med och utan effektkapning i tabellen nedan:

Tabell 14: Högsta förbrukade kilowattimme för äldreboendet

Månad:	Högsta förbrukade kilowattimme utan effektkapning:	Högsta förbrukade kilowattimme med effektkapning:	Reduktion av högsta effekttopp:
Januari	44,63 kWh	23,14 kWh	21,49 kWh
Februari	34,8 kWh	19,6 kWh	15,2 kWh
Mars	31,59 kWh	18,29 kWh	13,29 kWh
April	25,8 kWh	11,8 kWh	14 kWh
Maj	24,44 kWh	10,44 kWh	14 kWh
Juni	23,87 kWh	9,11 kWh	14,76 kWh
Juli	23,19 kWh	9,4 kWh	13,79 kWh
Augusti	24,16 kWh	12,6 kWh	11,56 kWh
September	34,92 kWh	16 kWh	18,86 kWh
Oktober	32 kWh	16,6 kWh	15,46 kWh
November	37,59 kWh	22,8 kWh	14,79 kWh
December	39,22 kWh	23,29 kWh	15,92 kWh

		Summa av reducerade effekttoppar:	183,12 kWh
--	--	-----------------------------------	------------

## 7.4 Batteridimensioneringens påverkan på det maximala effektuttaget och huvudsäkringsnivå

I undersökningen av det maximala effektuttaget har olika batteridimensioneringar simulerats i analysprogrammet för äldreboendet med avseende på kapacitet och urladdningsförmåga. Detta för att se hur det påverkar det maximala effektuttaget som gjorts på ett år. Med det maximala effektuttaget kan huvudsäkringsnivåer begrundas. Simuleringen sker med ett uppladdat batteri från elnät och solcellsanläggningen med 75 kW<sub>p</sub>, därmed används batteriets fulla kapacitet i urladdningen för att begrunda hur ett effektkapande kan påverka huvudsäkringsnivån. Med det högsta effektuttaget kan belastningsströmmen räknas ut för faserna med ekvation (1) och därmed kan fördelaktig storlek på säkring undersökas. Effektuttaget och belastningsströmmen presenteras i tabellen nedan med givet batteri:

Tabell 15: Maximala effektuttaget/år och belastningsström vid effektkapning med batteridimensionering

Batteri kapacitet/urladdningsförmåga:	Maximala effektuttaget på året:	Belastningsström:
--	44,63 kW	64,41 A
15 kWh/15kW	33,63 kW	48,54 A
25 kWh/25kW	30 kW	43,3 A
35 kWh/35kW	28 kW	40,41 A
45 kWh/35kW	26,41 kW	38,12 A
55 kWh/35kW	25,3 kW	36,5 A
65 kWh/35kW	24,2 kW	34,92 A
75 kWh/35kW	23,29 kW	33,61 A

## 8. Undersökning av kontorsfastigheten Essity-Huset

Essity-huset i Mölndal är en kontorsfastighet på cirka 25 000 kvm som invigt ett system med solcellsanläggning och batterilager tillsammans med 78 ladd-stationer för elbilar. I ett samarbete mellan Volvo Cars, Essity, Stena Fastigheter och Batteryloop har projektet utförts för att främja hållbarhet och att möjliggöra elbilsladdning genom lagrad solcellsenergi.

### 8.1 Batterilagret

Energilagret av Batteryloop som tillämpats i systemet är tillverkat av fem litium-jon batterier från Volvos eldrivna bil XC40 Recharge. Då prestandan i batterierna degraderats till en nivå då de inte är lämpliga till att driva en bil har de använts i ”second-life”-syfte i form av ett batterilager i fastigheten. Batteriet har en kapacitet på 390 kWh med en in- och urladdningsförmåga på 200 kW. Där inladdning av energi är tänkt att ske ifrån solcellsanläggningen på taket av fastigheten medan urladdning ska möjliggöra elbilsladdning i högre utsträckning för att hantera effekttoppar. Batteriet och solcellsanläggningen är även tänkt att förse fastighetsdelen så som ventilation och belysning. Då ett överskott av energi sker kan batteriet mata ut resterande på nätet. Batteri-lagret i sig är av ett smartutförande så att energiflöde kan styras optimerat för störst nytta.

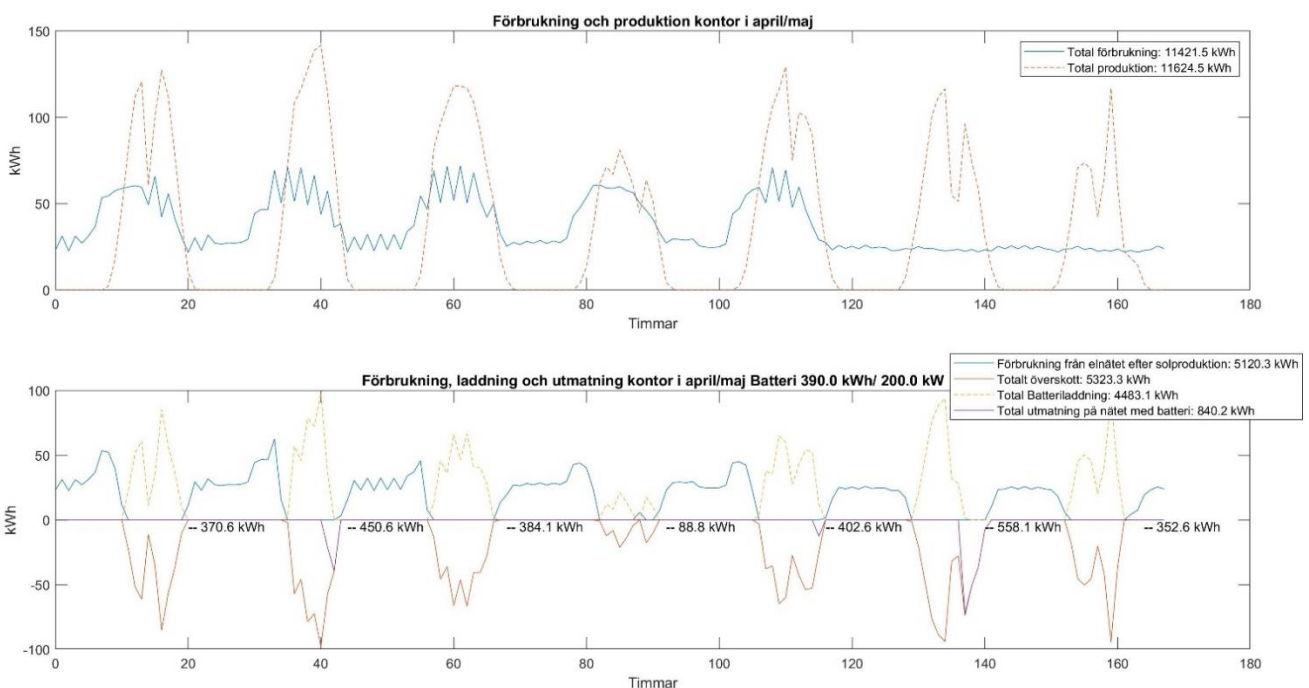
## 8.2 Analys av överskott

En analys har gjorts på fastighetens energiflöde där data mäts över två veckor i april/maj 2021. Till skillnad ifrån tidigare analys har faktiska data över solcellsproduktion i kontorsfastigheten erhållits. Förbrukningsdata som använts är fastighetselen, vilken omfattar belysning, ventilation och värmesystem etcetera. Då systemet inte är tänkt att förse verksamhets elen är denna inte med i sammanställningen av förbrukningen. Med data i upplösning kWh/1 minut respektive kWh/10 minuter för solcellsproduktion och förbrukningen har en anpassning till timmes-upplösning gjorts för kompatibilitet med analysprogrammet som utformats. Eftersom systemet nyligen invigts har data över batteriladdning ej varit tillgänglig. En simulering och analys över förbrukningen har gjorts för kontorsfastigheten för att ta fram överskottet från produktionen och vad effektkapandet kan möjliggöra. Analysinställningarna för batteriet i simuleringen angavs i programmet enligt följande:

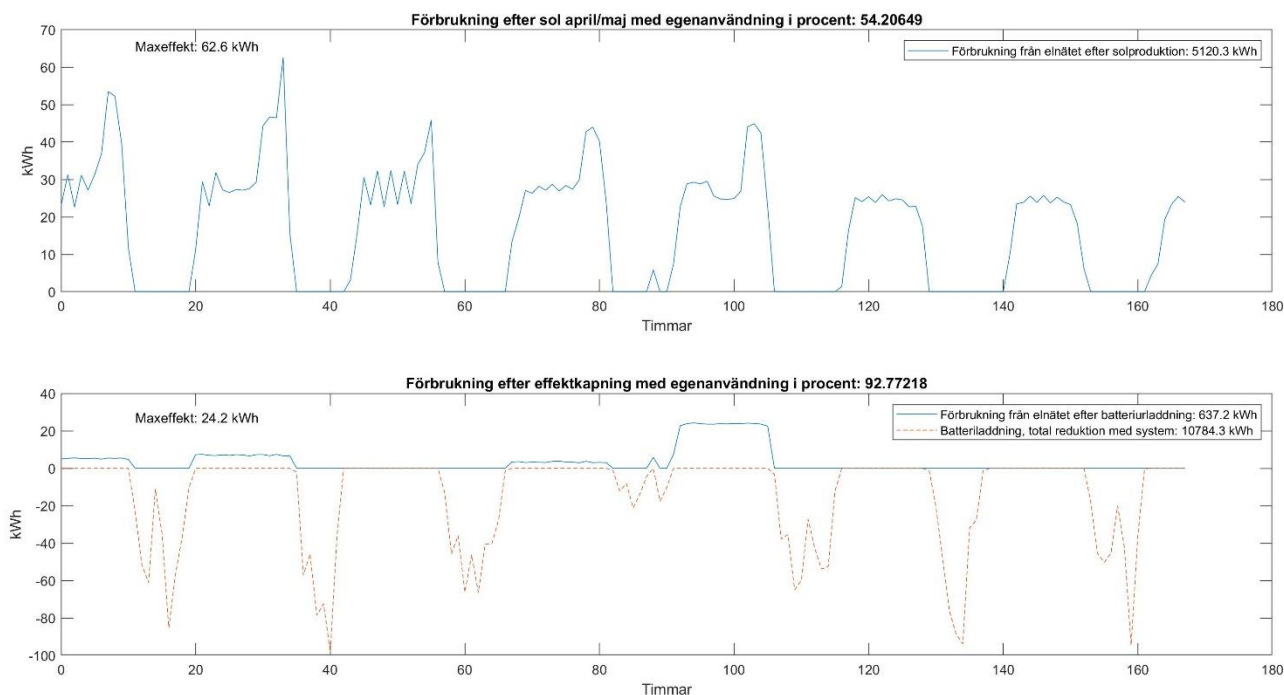
Tabell 16: Analysinställningar för och batteri

Analysinställning:	Kontorsfastighet:
Batterikapacitet:	390 kWh
C-rate (In- och urladdningsförmåga):	0,53 (200 kW)

Programmet har anpassats så att analysen baseras på de 13 dagar som data sträckts sig över och visar resultatet över denna period till skillnad ifrån vecko- och årsanalysen som gjorts på äldreboendet tidigare. Då batteriets kapacitet i fastigheten är så pass stor kommer ett överskott att ske även efter urladdning av batteriet för fastighetens förbrukning. Då ingen förbrukning sker ifrån elnät finns det fortfarande kapacitet kvar i batteriet och därför introduceras även utmatning från batteriet till nätet i denna analys. Graferna över förbrukning, produktion, överskott och effektkapning presenteras nedan och resultat sammanställs i tabell 17.



Figur 15: Analys av överskott, batteriladdning och utmatning för kontorsfastighet



Figur 16: Effektkapandet med batterilagring från solcellsproduktion för kontorsfastighet

Tabell 17: Sammanställning av Figur 15 och 16 Veckoanalys

Analys för system 13 dygn:	Enbart solcellsanläggning:	Solcellsanläggning med batteri 390 kWh/200 kW:
Total förbrukning:	11 421.4 kWh	11 421.4 kWh
Solcellsproduktion:	11 624.5 kWh	11 624.5 kWh
Förbrukning från elnätet med system:	5120.3 kWh	637.2 kWh
Egenanvändning av solcellsproduktionen:	54,2%	92,77%
Högsta kWh förbrukad:	62.6 kWh	24.2 kWh
Total utmatning:	5323.3 kWh	840.2 kWh
Självförsörjning:	55,2%	94,4%
Utmatning från batteri:	--	591.8 kWh

Totala utmatningen motsvarar den utmatning på nätet från solcellsanläggningen som gjorts då batteriet redan är fulladdat. Utmatning från batteriet motsvarar utmatningen då hela förbrukningen på dygnsbasis är täckt av en del av batteriets kapacitet medan resten matas ut på nät från batteri.

Batterilagret möjliggör en ökning av egenanvändningen på solcellsproduktionen från 54,2% till 92,77% i simuleringen och gör fastigheten självförsörjande med den givna förbrukningen över 3 av 13 dygn. Batteriet som laddats med solcellsproduktionen täcker därmed hela förbrukningen över dessa dygn och överskottsenergin i batteriet kan laddas ut på nätet. Självförsörjandegraden ökar ifrån 55,2% till 94,4%. Den högsta förbrukade kilowattimmen över perioden kunde reduceras från 62,6 kWh till 24,2 kWh. Effektkapandet per dygn presenteras i tabellen nedan:

Tabell 18: Högsta förbrukade kilowattimme för kontorsfastighet

Dygn:	Högsta förbrukade kilowattimme utan effektkapning:	Högsta förbrukade kilowattimme med effektkapning:	Reduktion av högsta effekttopp:
2021-04-21	32 kWh	4 kWh	28 kWh
2021-04-22	46,8 kWh	19,90 kWh	26,9 kWh
2021-04-23	53,1 kWh	19,87 kWh	33,09 kWh
2021-04-24	45,64 kWh	3,43 kWh	42,2 kWh
2021-04-25	27,65 kWh	0 kWh	27,65 kWh
2021-04-26	31,62 kWh	4,99 kWh	26,63 kWh
2021-04-27	53,49 kWh	7,44 kWh	46 kWh
2021-04-28	62,6 kWh	7,45 kWh	55,16 kWh
2021-04-29	45,85 kWh	3,6 kWh	42,25 kWh
2021-04-30	44 kWh	24,2 kWh	19,75 kWh
2021-05-01	44,91 kWh	24,08 kWh	20,83 kWh
2021-05-02	25,93 kWh	0 kWh	25,933 kWh
2021-05-03	29,37 kWh	0 kWh	29,37 kWh

## 9. Resultat av tekniska och ekonomiska fördelar

Sammanställningen av resultat på äldreboendets förbrukning och solcellsproduktion.

### 9.1 Sammanställning av tekniska fördelar

Egenanvändningen för äldreboendets solcellsproduktion kunde höjas från 80,02% till 95,44% på årsbasis med en batteridimensionering på 1 kWhbat/kWpsol. Med ökad egenanvändning ökar även självförsörjningsgraden från 29% till 34,5%. Förbrukningen från elnätet kunde sänkas med 8765 kWh/år med ett batterilager på 75 kWh.

Kapandet av effekttoppar möjliggjordes med att enbart använda sig av lagrad energi från solcellsproduktionen, dock begränsades antalet dagar som effektkapandet kunde göras på grund av saknad av överskottsenergi. Därmed kunde bara de högst topparna kapas 6 av 12 månader där totala effektkapande av toppar uppgick till 22,53 kWh. Det maximala effektuttaget under året kunde ej påverkas av effektkapandet med egenproducerad energi då uttaget skedde under januari månad då inget överskott fanns. Därmed kan ingen sänkning av huvudsäkring utföras då effektkapning endast sker med överskott av solcellsenergi. Effektuttaget under året var 44,63 kW vilket ger en belastningsström på 64,41 A.

Undersökning av effektkapning med uppladdat batteri från elnätet bidrog till en urladdning för varje dygn med hela batterikapaciteten. För undersökningen med batteridimensionering 75kWh/35kW kunde högsta effekttopparna kapas för varje månad med en total topp-reduktion på 183,12 kWh. Det maximala effektuttaget under året kunde reduceras till 23,29 kW med en belastningsström på 33,61 A och möjliggör därmed en sänkning av huvudsäkring.

### 9.2 Egenanvändningens och effektkapandets ekonomiska påverkan

Det noterades att egenanvändningen kunde ökas med 15,42% vilket motsvarar en sänkning av förbrukning i äldreboendet med 8765 kWh. Om den ekonomiska påverkan enbart utgår ifrån vad som besparas i egenanvändningssyfte utan att ta hänsyn till effektkapandet, är det väsentliga mängden kWh som sparats med lagring. Värdet av denna el motsvarar värdet av egenproducerade el som i sin tur vägs mot värdet av utmatade elen på nätet. Då utmatningen ej överstiger 18 000 kWh på årsbasis kan en skattereduktion läggas till för utmatad energi på 60 öre/kWh. Vilket leder till att skillnaden mellan värdet på egenanvänd el och utmatad el endast är 8,48 öre/kWh utifrån tabell 5. Detta bidrar till en besparing på 743,2 kr/år baserat på värde av energin som kan lagras i batteriet.

Hade fallet varit att ingen skattereduktion utlämnats hade besparingen resulterat i 6002 kr/år genom en höjning av egenanvändning.

Effektkapandet med enbart solcellsöverskott kunde möjliggöras 6 av 12 månader. Där den sammanlagda reduktionen av högsta effekttoppar uppgick till 22,54 kW(h). I detta fall kunde inte säkringen sänkas då högsta effektuttag skedde en månad då överskott ej fanns tillgängligt för effektkapande. Då effektuttaget var 44,63 kW krävs ett effektabonnemang för säkringsnivå på större än 63 A från Tabell 3. Det maximala effektutnyttjandet sänktes med 22,54 kW(h) vilket leder till en kostnadsreduktion på 1072,92 kr/år.

Med effektkapandet med fulladdat batteri från solcellsproduktion och elnät kunde det maximala effektutnyttjandet påverkas alla månader av året. Där summa av reducerade effekttoppar nådde 183,21 kW(h). Då det maximala effektuttaget reducerades till 23,29 kW kunde säkringsnivån och abonnemangstypen sänkas till mindre än 63 A. Effektkapandet tillät en kostnadsreduktion på månadsavgiften och maximala effektutnyttjandet, dock med en

ökande överföringsavgiften. Kostnadsreduktion blev sammanlagt 3842 kr/år vid effektkapandet med fulladdat batteri.

Den totala kostnadsreduktionen sammanfattas i tabellen med skattereduktion för utmatad energi:

Tabell 19: Kostnadsreduktion för batterilager med skattereduktion

Effektkapande med batterilager 75kWh/35kW:	Egenanvändning:	Effektkapande:	Total kostnadsreduktion:
Enbart solcellsöverskott:	743,2 kr/år	1072,92 kr/år	1816,12 kr/år
Fulladdat batteri från solcellsproduktion och elnät:	743,2 kr/år	3842 kr/år	4585,2 kr/år

Den totala kostnadsreduktionen sammanfattas i tabellen utan skattereduktion för utmatad energi:

Tabell 20: Kostnadsreduktion för batterilager system utan skattereduktion

Effektkapande med batterilager 75kWh/35kW:	Egenanvändning:	Effektkapande:	Total kostnadsreduktion:
Enbart solcellsöverskott:	6002 kr/år	1072,92 kr/år	7074,92 kr/år
Fulladdat batteri från solcellsproduktion och elnät:	6002 kr/år	3842 kr/år	9844 kr/år



## 10. Diskussion

Som noterat finns det en hel del fördelar med att införa ett smart förbrukningssystem med batterilager. Är huvudsyftet att höja utnyttjandegraden av en solcellsproduktion, så är batterilager ett effektivt sätt att ta vara på egenproduktionen. Detta möjliggör att den förbrukning som sker i fastigheten till högre grad är av en förnybar källa och att elnätet kan belastas i mindre grad, särskilt då effektkapandet sker under timmarna då nätet är som mest belastat. Vid hög belastning av elnätet, exempelvis vid året kallaste timmar förekommer det att fossila bränslen används för att generera elektricitet och i vissa fall kan även import av kolkraft förekomma. Med hjälp av batteriurladdning vid dessa timmar kan en reduktion av fossil energi möjliggöras. Det finns alltså en fördel i att lagra energi till ett senare tillfälle. Batterilager kan även säkra att ett högre effektuttag är möjligt då det finns en energibuffert att ta ifrån då det finns risk att huvudsäkringarna utlöses. Detta kan bli väldigt aktuellt med en ökande elbilsaddning där effektuttaget i fastigheter kan öka drastiskt och begränsas då elbilsaddning sker i större antal. Då bufferten finns att tillgå i batterilager kan elbilarna laddas snabbare och laddning kan ske med fossilfri energi.

Det finns många hållbarspekter i att producera sin egen el i form av lokala solcellsanläggningar. Dels är produktionen 100% fossilfri, den ger inga upphov till växthusgaser, den bidrar även till att elnätet belastas mindre vid dagar då solen skiner och att förluster i ledningarna kan undvikas. Dock så är tillverkningsprocessen av solceller energikrävande och majoriteten av tillverkningen sker i Kina där fossila bränslen är huvudenergikällan. Enligt [40] tar det två till tre år för en solcellsanläggning att producera den mängd som tillverkningen kräver. Sett till att en anläggning kan vara i drift i 25–30 år så återbetalas denna energi relativt snabbt. Dessutom är produktionen tyst och påverkar inte omgivningen i samma utsträckning som till exempel ett vindkraftverk.

Utgår man ifrån den ekonomiska vinningen i smarta elförbrukningssystem med batterilager är det svårt att se en lönsamhet i enbart egenanvändning och effektkapandet. Det sker en reduktion av elkostnader men då batterier i nuläget är väldigt dyra blir ”payback”-tiden lång. Dock så finns det väldigt många användningsområden som kan utvärderas ytterligare. Där bland annat batteri som frekvensreglering är något som det tyder på finnas lönsamhet i [41] och kan undersökas ytterligare. I andra fall kan även batterilager ersätta nätinvesteringar då effekten inte finns att tillgå eller kapaciteten i elnätet inte räcker till.

Ett problem med litium jon-batteriet är den begränsade tillgång av de värdefulla metaller som batteriet består av. Detta kan bli ett problem med en efterfrågan som ökar. Det undersöks många metoder på hur batteriet kan bäst återvinnas efter livslängd. De finns återvinningsteknologier där man kan återfå 80% av materialet [42] men som dock är en krävande procedur. Det pågår forskning och projekt kring hur batterier kan användas i ”second life”-syfte där energilagring i fastigheter är en stor möjlighet där till exempel Essity-huset är ett ledande projekt i den utvecklingen.

Med en fordonssektor i en pågående utfasning av fossila förbränningsmotorer kommer det att finnas en hög produktion av batterier. Volvo Cars har som mål att vara 100% elektrifierat vid år 2030 [43]. Där ambition är att sälja enbart elektriskt drivna bilar. Då batterierna i bilarna bara kan prestera under en begränsad tid då kapaciteten degraderas ger detta möjlighet för att återanvända batterier i fastigheter. Batterierna i bilar används idag till 80% av ursprungskapaciteten, det finns därmed outnyttjad potential som kan nyttjas i ett andra syfte. Enligt Mälardalens Högskola kommer det att finnas cirka 250 000 ton batterier år 2025 med en nådd livslängd [44]. Det kommer finnas en stor mängd batterier som kommer att kunna



återanvändas i andra syften än transport. Detta ger batteriet ett lägre klimatavtryck då det kan appliceras över en längre tid än tänkt från början.

## **11. Slutsatser**

Det finns många fördelar med att införa ett smart elförbrukningssystem med solceller och lagringsmöjligheter. Det möjliggör en högre utnyttjandegrad av en solcellsanläggning då det förekommer en överskottsproduktion. Överskottet kan i sin tur användas för att hantera effekttoppar genom laddning och urladdning av batteriet. Batteriet i sig kan ses som en tillgång för att tillåta högre effektuttag vilket kommer att bli mer och mer aktuellt med ökad elektrifiering i samhället.

De ekonomiska fördelarna för ett system med avseende på höjning av egenanvändningen och effektkapandet har inte talat för en lönsamhet. Dock finns det många användningsområden för ett batterilager som ytterligare kan undersökas där frekvensreglering är ett område som det tyder på att tekniska och ekonomiska fördelar kommer att finnas.

## Källor

- [1] Energimarknadsbyrån, "Nätavgifter" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/natavgifter/>, hämtad 2021-02-02
- [2] Energimarknadsbyrån, "Sälja El" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/solceller/kopa-solceller-och-salja-solel/salja-el/>, hämtad 2021-02-02
- [3] Britannica "Solar Cell" [Online]. Tillgänglig: <https://www.britannica.com/technology/solar-cell> 2021-02-10
- [4] L. Bergström, L. Nordlund "Ellära bok", Tredje upplagan, Liber AB, 2012.
- [5] A.Nader "Renewable Energy Technology and resources" 1<sup>st</sup> Edition, Artech House, 2020.
- [6] Energy Sage "Types of solar panels" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energysage.com/solar/101/types-solar-panels/> 2021-02-10
- [7] A.Nader "Renewable Energy Technology and resources" 1<sup>st</sup> Edition, Artech House, 2020.
- [8] Solcellskollen, "Om kW, kWp och hur man får fram effekten för en solcellsanläggning" [Online]. Tillgänglig: <https://www.solcellskollen.se/blogg/om-kw-kwp-och-hur-man-far-fram-effekten-for-en-solcellsanlaggning> 2021-02-11
- [9] Solcellskollen, "Optimerare", [Online]. Tillgänglig: <https://www.solcellskollen.se/blogg/optimerare-till-solcellsanlaggningen-vi-reder-ut-vad-som-ar-bra-att-tank-a-pa> 2021-05-21
- [10] Solcellskollen, "Så väljer du en bra växelriktare" [Online]. Tillgänglig: <https://www.solcellskollen.se/blogg/sa-valjer-du-en-bra-vaxelriktare> 2021-02-11
- [11] EU Science Hub, "Photovoltaic Geographic Information System" [Online]. Tillgänglig: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR) 2021-02-10
- [12] Energy Sage "How long do solar panels last" [Online]. Tillgänglig: <https://news.energysage.com/how-long-do-solar-panels-last/> 2021-02-10
- [13] International Energy Agency "National Survey Report of PV Power Applications in Sweden", 2019 [Online]. Tillgänglig: [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/08/NSR\\_Sweden\\_2019.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/08/NSR_Sweden_2019.pdf) 2021-02-24
- [14] Power Circle "Energilager I energisystem" 2014 [Online]. Tillgänglig: <https://powercircle.org/wp-content/uploads/2020/05/2014-Underlagsrapport-Energilager-i-energisystemet.pdf> 2021-02-10
- [15] Battery University, "How to Prolong Lithium-based Batteries" [Online]. Tillgänglig: [https://batteryuniversity.com/learn/article/how\\_to\\_prolong\\_lithium\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries) 2021-02-12
- [16] Tesla, "Powerwall" [Online]. Tillgänglig: [https://www.tesla.com/sv\\_se/powerwall](https://www.tesla.com/sv_se/powerwall) 2021-02-12
- [17] Jernkontorets energihandbok "Lagring av elektrisk energi" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energihandbok.se/lagring-av-elektrisk-energi> 2021-02-12

- [18] Ferroamp, "Nilar Battery Warranty" [Online]. Tillgänglig: <https://ferroamp.com/download/nilar-warranty-ferroamp-ec-battery-system/> 2021-02-12
- [19] Hemsol, "Huvudsäkring" [Online]. Tillgänglig: <https://hemsol.se/blogg/huvudsakring/> 2021-04-08
- [20] Solcellskollen, "Sätt att få in mer solceller på sin huvudsäkring" [Online]. Tillgänglig: <https://www.solcellskollen.se/blogg/3-satt-att-fa-in-mer-solceller-pa-sin-huvudsakring-2021-04-08>
- [21] Ferroamp, "Dimensionering, design guide EnergyHub system" [Online]. Tillgänglig: <https://ferroamp.com/download/dimensioning-design-guide-energyhub-system/> 2021-02-12
- [22] Kraftringen, "Elprisets delar" [Online]. Tillgänglig: <https://www.kraftringen.se/privat/el/elhandel/elpriser/elprisets-delar/> hämtad 2021-05-24
- [23] International Energy Agency "National Survey Report of PV Power Applications in Sweden", 2019 [Online]. Tillgänglig: [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/08/NSR\\_Sweden\\_2019.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/08/NSR_Sweden_2019.pdf) 2021-02-24
- [24] Energimarknadsbyrån, "Månadspris på Elbörsen" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elpriser-statistik/manadspriser-pa-elborsen/> 2021-02-24
- [25] Energimarknadsbyrån, "Nätavgifter" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/natavgifter/> 2021-02-24
- [26] Energimyndigheten, "Stöd vid investering" [Online]. Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vilka-stod-och-intakter-kan-jag-fa/stod-vid-investering/> 2021-02-24
- [27] Boverket, "Sök bidrag och stöd" [Online]. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/bidrag--garantier/e-tjanster-for-bidrag-och-garantier/sok-bidrag-och-stod-elektroniskt1/> 2021-02-24
- [28] Energimyndigheten, "Löpande intäkter efter installation" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vilka-stod-och-intakter-kan-jag-fa/lopande-intakter-efter-installation/> 2021-02-24
- [29] Energimyndigheten, "Fördjupning om löpnade intäkter" [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vilka-stod-och-intakter-kan-jag-fa/fordjupning-om-lopande-intakter/> 2021-02-24
- [30] Energimyndigheten "Metoder och lösningar för att matcha solexproduktion och elanvändning", Charlotta Winkler, Martin Skoglund, Jens Penttilä, Peter Bennewitz, Sara Olsson 2017. 2021-02-24
- [31] Göteborgs Energi, "Elnätsavgifter" [Online]. Tillgänglig: <https://www.goteborgenergi.se/foretag/vara-nat/elnat/elratsavgiften> 2021-03-09
- [32] Vattenfall, "Timpris på elbörsen" [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/timpris-pa-elborsen/> 2021-04-16
- [33] Cesar Energimyndigheten, "Average Price" [Online]. Tillgänglig: <https://cesar.energimyndigheten.se/WebPartPages/AveragePricePage.aspx> 2021-04-16

- [34] Energimarknadsbyrån, ”Energiskatt” [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elrakningen/energiskatt-skattesatser-och-kostnader/> 2021-04-16
- [35] Energimarknadsbyrån, ”Ellagen och solceller” [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/solceller/konsumentratt/regler-och-beslut/ellagen-och-solceller/> 2021-04-16
- [36] Energimarknadsbyrån, ”Solcellskalkyl och prisutveckling” [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/solceller/kopa-solceller-och-salja-solel/ar-solceller-for-villa-lonsamt/solcellskalkyl-och-prisutveckling/> 2021-04-16
- [37] Energimarknadsbyrån, ”Normal elförbrukning och elkostnad för lägenhet” [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-lagenhet/> 2021-03-11
- [38] EU Science Hub, “Photovoltaic Geographic Information System” [Online]. Tillgänglig: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP) 2021-03-11
- [39] Svantesson, G. 2017. Energilagring för ökad egenanvändning av solen i flerbostadshus. Examensarbete, Uppsala universitet.
- [40] Energimyndigheten, ”Solcellers miljöpåverkan” [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/solcellers-miljopaverkan/> 2021-04-20
- [41] Powercircle, “Batterilager” Juni 2020 [Online]. Tillgänglig: <https://powercircle.org/batterilager.pdf> 2021-04-28
- [42] Fortum, “Litium-jon Batterier” [Online]. Tillgänglig: <https://www.fortum.se/foretag/atervinning-och-avfall/atervinningstjanster-och-produkter/litiumjonbatterier> 2021-04-20
- [43] Volvo Cars, “Volvo Cars ska vara helt elektriskt senast 2030” [Online]. Tillgänglig: <https://www.media.volvocars.com/se/sv-se/media/pressreleases/277409/volvo-cars-ska-vara-helt-elektriskt-senast-2030> 2021-04-20
- [44] Mälardalens Högskola, ”Ökad livslängd på batterier ger ökade miljövinster” [Online]. Tillgänglig: <https://www.mdh.se/artiklar/2021/mars/okad-livslangd-pa-batterier-ger-okade-miljovinster> 2021-04-20

## Bilagor

### Bilaga A Kod Veckoanalys

```
amplify_sol = 1.5; %öka solproduktion, multiplikation
kwp = 50;
%Importerering av data från fastighet och solcellsproduktion
Ange_vecka = 24;
vecka = Ange_vecka - 1;
forbrukning = ldreboende{1+(vecka * 168): 168 + (vecka * 168),2};
%importerar från excel fil förbrukningsdata för angiven period
solprod = amplify_sol * solcellsproduktion{1+(vecka * 168): 168 + (
vecka * 168),9}; %importerar solcellsproduktion
tot_forb_fastighet = ldreboende{1:8760,2}; %Array med hela totala
förbrukningen
tot_sol_cells = amplify_sol * solcellsproduktion{1:8760,9}; %Array
med hela solcellsproduktionen
max_forb_fastighet = max(tot_forb_fastighet-tot_sol_cells); %Räknar
ut maxförbrukningen på hela året

el_forb = forbrukning - solprod; %räknar ut elförbrukningen
s = 168; %Timmar på en vecka
tot_forbmaj = sum(forbrukning);
tot_solmaj = sum(solprod);

%Batteriets egenskaper

Batteri_kapacitet = 75; %Kapacitet i kWh
c_rate_batteri = 35; %In och urladdningsförmåga i kW

%Varibler
H(:) = 0;
timme_overskott(:)=0;
Charge_per_hour(:)=0;
batteri_charge_hour(:)=0;
Charge_per_day(:)=0;
max_overskott(:)=0;
dags_overskott(:)=0;

%Förbruknings och överskotts uträkningar

for c = 1:s %Uträkning av förbrukning från elnät och överskott
    if el_forb(c) < 0 % Om elförbrukningen minus solcellerprod
mindre än noll matas det ut på nätet
        H(c) = el_forb(c); % Tar fram överskott
        el_forb(c) = 0;
    else %Annars förbrukas
        H(c) = 0;
    end
end

forbel = sum(el_forb); %totalt summa av eluttag ifrån nätet
tot_overskott = abs(sum(H)); %totalt överskott
```

```

%Utmaning kontra Batteriladdning
o = 0; %variabel för for sats
for b = 1:7 %Räkna ut total mängd och maxeffekt i utmatningen samt
batteriladdning per timme, dag och vecka
    for v = 1:24
        timme_overskott(v) = abs(H(o + v)); %Räknar ut överskottet
per timme
        if timme_overskott(v) > c_rate_batteri %Räknar ut hur mycket
som kan laddas med given C-rate
            Charge_per_hour(v) = c_rate_batteri; %Är överskottet
större än c-rate laddas c-rate.
        else
            Charge_per_hour(v) = timme_overskott(v); %Är överskottet
mindre laddas energimängden
        end
        batteri_charge_hour(v + o) = Charge_per_hour(v); %Fyller
array med laddningstimmar
        if (sum(batteri_charge_hour(1+o:v+o)) > Batteri_kapacitet)
%Undersöker om batteriet är full laddat
            batteri_charge_hour(v + o) = Batteri_kapacitet -
sum(batteri_charge_hour(1+o:(v+o)-1));
        end
    end
    Charge_per_day(b) = sum(Charge_per_hour); %Summerar laddning per
dag
    if Charge_per_day(b) > Batteri_kapacitet %Kollar om kapaciteten
räcker till
        Charge_per_day(b) = Batteri_kapacitet;
    else
        Charge_per_day(b) = Charge_per_day(b);
    end
    max_overskott(b) = max(timme_overskott); %Räknar ut max effekt
för utmatningen
    o = o + 24;
    dags_overskott(b) = sum(timme_overskott); %Räknar ut totala
mängden energi utmatat per dygn
end

Charge_per_week = sum(Charge_per_day); %Summerar mängden som kan
laddas på en vecka
overskott = H + batteri_charge_hour;
totalutmatning = abs(sum(overskott));

%Varibaler för effektkapning
elkapa = el_forb;
batterikapa = -(batteri_charge_hour);
c_rate_count(1:168) = 0;
totforbprint = sprintf('Total förbrukning: %.1f kWh ',tot_forbmaj);
totsolmajprint = sprintf('Total produktion: %.1f kWh',tot_solmaj);

%Inställningar för plots
figure (1)
t = (0:23+144)'; %anger antalet timmar som plottas

```

```

subplot(2,1,1); %Första plot
plot(t,forbrukning,t,solprod,'--');
xlabel('Timmr');
ylabel('kWh');
RubrikprintSol = sprintf('Förbrukning och produktion Äldreboende i
Maj Ons-Tis 1 Vecka. Solcellsanläggning: %1.1f
kWp',amplify_sol*kwp);
legend(totforbprint,totsolmajprint);
title(RubrikprintSol);

subplot(2,1,2); %Andra plot
plot(t,el_forb,t,H,t,batteri_charge_hour,'--',t,overskott);
%Förbrukning, överskott, batteriladdning
totforbprint = sprintf('Förb efter sol från elnätet: %1.1f
kWh',forbel);
totoverskottprint = sprintf('Totalt överskott: %1.1f
kWh',tot_overskott);
Rubrikprint = sprintf('Förbrukning, laddning och utmatning
Äldreboende i Maj Ons-Tis 1 Vecka Batteri %1.1f kWh/ %1.1f
kW',Batteri_kapacitet,c_rate_batteri);
batteriladdning = sprintf('Total Batteriladdning: %1.1f
kWh',Charge_per_week);
utmatning = sprintf('Total utmatning på nätet: %1.1f
kWh',totalutmatning);
xlabel('Timmr');
ylabel('kWh');
legend(totforbprint,totoverskottprint,batteriladdning,utmatning)
title(Rubrikprint)
m = 0;

for k = 1:7 %Utskrift av dagsöverskott för 7 dagar
    txt = sprintf('-- %1.1f kWh', dags_overskott(k));
    text(15 + m,-5,txt)
    m = m + 24;
end
txt1 = {'Totalt dagsöverskott:'};
text(-27,-5,txt1)

%Kapa toppar funktion
o=0;
kapacitet_tillganglig(:)=0;
mm = 24;
y=0;

for g = 1:7

p = 0;
%Ange kapacitet_tillganglig(g) = Charge_per_day(g); om batteri ska
enbart laddas med solproduktion,
%eller kapacitet_tillganglig(g) = Batteri_kapacitet; för ett
uppladdat
%batteri
kapacitet_tillganglig(g) = Charge_per_day(g); %Anger kapaciten som
laddats och finns tillganglig
kapa_effekt = 0;
m = 0;

```

```

intervallnummer(1:168) = 0;

sorteranummer = mm;
while kapacitet_tillganglig(g) > 0 %Kapar effekttoppar medans
kapaciteten är större än noll
    for y = 1+10:mm+10

        sortera = sort(elkapa(1+o+10:mm+o+10)); %Sorterar högst till
lägst förbrukad timme

        if kapacitet_tillganglig(g) < 1 %Är tillgänglig effekt mindre
än 1 kapas den med tillgängliga effekten
            kapa_effekt = kapacitet_tillganglig(g);
        else
            kapa_effekt = 1; %Annars kapas effekten med 1 kWh
        end
        if(c_rate_count(y+o) == c_rate_batteri) %Kollar så att
kapning inte överstiger c-rate
            for q = mm:-1:1 %ändrar sortering för kapning beroende på
c-rate-count
                if elkapa(y+o) == sortera(q) && sorteranummer == q %Är c-
rate överstigen kapas nästa högsta topp osv.
                    sorteranummer = q - 1;
                end
            end
        end
        if elkapa(y+o) == sortera(sorteranummer) %Hittar högsta
effekt
            elkapa(y+o) = elkapa(y+o) - kapa_effekt; %Kapar högsta
effekt
            kapacitet_tillganglig(g) = kapacitet_tillganglig(g) -
kapa_effekt; %Kapacitet minskas efter kapning
            c_rate_count(y+o) = c_rate_count(y+o) + kapa_effekt;
%Håller koll på tillgänglig C-rate
        else
            elkapa(y+o) = elkapa(y+o); %Annars kapa inte
        end
    end
end
if y+o == 154 %Kapar sista timmarna av veckan
    mm = 14;
end
o = o + 24; %Kapa effekt nästa dygn
end

egen_anvandning_sol = ((tot_solmaj-tot_overskott)/tot_solmaj) * 100;
egen_anvandning_batt = ((tot_solmaj-(tot_overskott-
Charge_per_week))/tot_solmaj) *100;
sjalvforsorjande_sol = (tot_solmaj-tot_overskott)/tot_forbmaj;
sjalvforsorjande_batt = (tot_solmaj-totalutmatning)/tot_forbmaj;
%Sammanställning av energiflöde

tot_forb_minskning = tot_forbmaj - sum(elkapa); %Räknar ut total
förbrukningen minus summa av
totforbbatteri = sum(elkapa);

```



```

max_forb_sol = max(el_forb); %Topp kWh efter sol och förbrukning
max_forb_batt = max(elkapa(14:168)); %Topp kWh efter toppar kapade

totforbbatteriprint = sprintf('Förbrukning från elnätet efter
batteriurladdning: %.1f kWh',totforbbatteri);
totforbminsk = sprintf('Batteriladdning, total reduktion med system:
%.1f kWh',tot_forb_minskning);
Rubrikprint1 = sprintf('Förbrukning efter sol 1 Vecka Maj med
egenanvändning i procent: %.5f',egen_anvandning_sol);
Rubrikprint2 = sprintf('Förbrukning efter effektkapning 1 Vecka med
egenanvändning i procent: %.5f',egen_anvandning_batt);

figure(2)
subplot(2,1,1);
plot(t,el_forb);
title(Rubrikprint1);
xlabel('Timmars');
ylabel('kWh');
legend(totforbprint);
txt = sprintf('Maxeffekt: %.1f kWh',max_forb_sol);
text(11,max_forb_sol + 3,txt);

%Plot av effektkapar funktion
subplot(2,1,2);
plot(t,elkapa,t,batterikapa,'--');
xlabel('Timmars');
ylabel('kWh');
title(Rubrikprint2);
legend(totforbbatteriprint,totforbminsk);
txt = sprintf('Maxeffekt: %.1f kWh',max_forb_batt);
text(11,max_forb_batt + 3,txt)

```

## Bilaga B Kod Årsanalys

**%Variabler**

```
egen_anvandning_sol(:)=0;
egen_anvandning_batt(:)=0;
total_forb_ar(:)=0;
total_sol_ar(:)=0;
total_forbel_ar(:)= 0;
total_forb_batteri(:)=0;
max_forb_sol_vecka(:)=0;
max_forb_batt_vecka(:)=0;
overskott_per_vecka(:)=0;
totalt_utmatning_per_vecka(:)=0;
max_forb_sol_manad(:)=0;
max_forb_batteri_manad(:)=0;
```

```
y = 0;
```

```
for vecka = 0:51
```

```
amplify_sol = 1.5; %öka solproduktion, multiplikation
kWp = amplify_sol*50;
%Importerar av data från fastighet och solcellsproduktion
```

```
maj = ldreboende{1+(vecka * 168): 168 + ( vecka * 168),2};
%importerar från excel fil förbrukningsdata för angiven period
solmaj = amplify_sol * solcellsproduktion{1+(vecka * 168): 168 + (
vecka * 168),9}; %importerar solcellsproduktion
tot_forb_fastighet = ldreboende{1:8760,2}; %Array med hela totala
förbrukningen
tot_sol_cells = amplify_sol * solcellsproduktion{1:8760,9}; %Array
med hela solcellsproduktionen
max_forb_fastighet = max(tot_forb_fastighet-tot_sol_cells); %Räknar
ut maxförbrukningen på hela året
```

```
%4322 + 167 för juni
```

```
el_forb = maj - solmaj; %räknar ut elförbrukningen
s = 168; %Timmar på en vecka
tot_forbmaj = sum(maj);
tot_solmaj = sum(solmaj);
max_tot_forb = max(tot_forb_fastighet);
%Batteriets egenskaper
```

```
Batteri_kapacitet = 75; %Kapacitet i kWh
c_rate_batteri = 75; %In och urladdningsförmåga i kW
```

**%Varibler**

```
H(:) = 0;
timme_overskott(:)=0;
Charge_per_hour(:)=0;
batteri_charge_hour(:)=0;
Charge_per_day(:)=0;
max_overskott(:)=0;
dags_overskott(:)=0;
```

```

%Förbruknings och överskotts uträkningar

for c = 1:s %Uträkning av förbrukning från elnät och överskott
    if el_forb(c) < 0 % Om elförbrukningen minus solcellerprod
mindre än noll matas det ut på nätet
        H(c) = el_forb(c); % Tar fram överskott
        el_forb(c) = 0;
    else %Annars förbrukas
        H(c) = 0;
    end
end

forbel = sum(el_forb); %totalt summa av eluttag ifrån nätet
tot_overskott = abs(sum(H)); %totalt överskott

%Utmaning kontra Batteriladdning
o = 0; %variabel för for sats
for b = 1:7 %Räkna ut total mängd och maxeffekt i utmatningen samt
batteriladdning per timme, dag och vecka
    for v = 1:24
        timme_overskott(v) = abs(H(o + v)); %Räknar ut överskottet
per timme
        if timme_overskott(v) > c_rate_batteri %Räknar ut hur mycket
som kan laddas med given C-rate
            Charge_per_hour(v) = c_rate_batteri; %Är överskottet
större än c-rate laddas c-rate.
        else
            Charge_per_hour(v) = timme_overskott(v); %Är överskottet
mindre laddas energimängden
        end
        batteri_charge_hour(v + o) = Charge_per_hour(v); %Fyller
array med laddningstimmar
        if (sum(batteri_charge_hour(1+o:v+o)) > Batteri_kapacitet)
%Undersöker om batteriet är full laddat
            batteri_charge_hour(v + o) = Batteri_kapacitet -
sum(batteri_charge_hour(1+o:(v+o)-1));
        end
    end
    Charge_per_day(b) = sum(Charge_per_hour); %Summerar laddning per
dag
    if Charge_per_day(b) > Batteri_kapacitet %Kollar om kapaciteten
räcker till
        Charge_per_day(b) = Batteri_kapacitet;
    else
        Charge_per_day(b) = Charge_per_day(b);
    end
    max_overskott(b) = max(timme_overskott); %Räknar ut max effekt
för utmatningen
    o = o + 24;
    dags_overskott(b) = sum(timme_overskott); %Räknar ut totala
mängden energi utmatat per dygn
end

Charge_per_week = sum(Charge_per_day); %Summerar mängden som kan
laddas på en vecka

```

```

overskott = H + batteri_charge_hour;
totalutmatning = abs(sum(overskott));

%Varibaler för effektkapning
elkapa = el_forb;
batterikapa = -(batteri_charge_hour);
c_rate_count(1:168) = 0;

m = 0;

%Kapa toppar funktion
o=0;
kapacitet_tillganglig(:)=0;
mm = 24;

for g = 1:7

p = 0;
%Ange kapacitet_tillganglig(g) = Charge_per_day(g); om batteri ska
enbart laddas med solproduktion,
%eller kapacitet_tillganglig(g) = Batteri_kapacitet; för ett
uppladdat
%batteri
kapacitet_tillganglig(g) = Charge_per_day(g); %Anger kapaciten som
laddats och finns tillganglig
kapa_effekt = 0;
m = 0;
intervallnummer(1:168) = 0;

sorteranummer = mm;

    while kapacitet_tillganglig(g) > 0 %Kapar effekttoppar medans
kapaciteten är större än noll
        for y = 1+10:mm+10 %Intervallet för kapande

            sortera = sort(elkapa(1+o+10:mm+o+10)); %Sorterar för att
hitta högsta effekttopp

            if kapacitet_tillganglig(g) < 1 %Är tillgänglig effekt mindre
än noll kapas den med tillgängliga effekten
                kapa_effekt = kapacitet_tillganglig(g);
            else
                kapa_effekt = 1; %Annars är effekten
            end
            if(c_rate_count(y+o) == c_rate_batteri) %Kollar så att
kapning inte överstiger c-rate
                for q = mm:-1:1 %ändrar sortering för kapning beroende på
c-rate-count
                    if elkapa(y+o) == sortera(q) && sorteranummer == q
                        sorteranummer = q - 1;
                    end
                end
            end
            if elkapa(y+o) == sortera(sorteranummer) %Om elkapa = topp -
> kapa

```

```

        elkapa(y+o) = elkapa(y+o) - kapa_effekt; %Effektkapas
        kapacitet_tillganglig(g) = kapacitet_tillganglig(g) -
kapa_effekt; %Kapacitet minskas
        c_rate_count(y+o) = c_rate_count(y+o) + kapa_effekt;
    else
        elkapa(y+o) = elkapa(y+o); %Annars kapa inte
    end
end
end
if y+o == 154 %Kapa sista timmarna av veckan
    mm = 14;
end
o = o + 24; %Kapa effekt nästa dygn
end

%Sammanställning av energiflöde Års analys

tot_forb_minskning = tot_forbmaj - sum(elkapa); %Räknar ut total
förbrukningen minus summa av
totforbbatteri = sum(elkapa);
max_forb_sol = max(el_forb); %Topp kWh efter sol och förbrukning
max_forb_batt = max(elkapa(14:168)); %Topp kWh efter topparkapade

total_forb_ar(vecka + 1) = tot_forbmaj; %Räknar ut totalförbrukning
per vecka
total_sol_ar(vecka + 1) = tot_solmaj; %Räknar ut total solproduktion
per vecka
total_forbel_ar(vecka + 1) = forbel; %Räknar ut total förbrukning
efter sol per vecka
total_forb_batteri(vecka+1) = totforbbatteri; %Räknar ut total
förbrukning efter batteri per vecka
max_forb_sol_vecka(vecka+1) = max_forb_sol; %Räknar ut maxforb med
sol
max_forb_batt_vecka(vecka+1) = max_forb_batt; %Räknar ut max forb med
batt

overskott_per_vecka(vecka+1) = tot_overskott; %räknar ut överskott
per vecka
totalt_utmatning_per_vecka(vecka+1) = totalutmatning; %räknar ut
utmatning per vecka
end
for max_manad = 0:11
    max_forb_sol_manad(max_manad+1) =
max(max_forb_sol_vecka(1+(max_manad*4):4+(max_manad*4)));
    max_forb_batteri_manad(max_manad+1) =
max(max_forb_batt_vecka(1+(max_manad*4):4+(max_manad*4)));
end

%Tar fram maximala förbrukningen med ett batteri för angivna månaden
jan_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(1:4));
feb_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(5:8));
mars_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(9:13));
april_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(14:18));
maj_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(19:22));
jun_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(23:26));

```

```

juli_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(27:30));
aug_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(31:35));
sep_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(36:39));
okt_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(40:43));
nov_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(44:48));
dec_max_forb_batt = max(max_forb_batt_vecka(49:52));

%Tar fram maximala förbrukningen för givna månaden enbart med
%solcellsanläggning
jan_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(1:4));
feb_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(5:8));
mars_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(9:13));
april_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(14:18));
maj_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(19:22));
jun_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(23:26));
juli_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(27:30));
aug_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(31:35));
sep_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(36:39));
okt_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(40:43));
nov_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(44:48));
dec_max_forb_sol = max(max_forb_sol_vecka(49:52));

%Tar fram differansen mellan max förbrukningen med och utan batteri
jan_max_forb_diff = jan_max_forb_sol - jan_max_forb_batt;
feb_max_forb_diff = feb_max_forb_sol - feb_max_forb_batt;
mars_max_forb_diff = mars_max_forb_sol - mars_max_forb_batt;
april_max_forb_diff = april_max_forb_sol - april_max_forb_batt;
maj_max_forb_diff = maj_max_forb_sol - maj_max_forb_batt;
jun_max_forb_diff = jun_max_forb_sol - jun_max_forb_batt;
juli_max_forb_diff = juli_max_forb_sol - juli_max_forb_batt;
aug_max_forb_diff = aug_max_forb_sol - aug_max_forb_batt;
sep_max_forb_diff = sep_max_forb_sol - sep_max_forb_batt;
okt_max_forb_diff = okt_max_forb_sol - okt_max_forb_batt;
nov_max_forb_diff = nov_max_forb_sol - nov_max_forb_batt;
dec_max_forb_diff = dec_max_forb_sol - dec_max_forb_batt;

%Sammanställning
max_forb_diff_manad = max_forb_sol_manad - max_forb_batteri_manad;
%Differansen i maxförbrukning mellan sol och batteri
summa_total_maximalt_effektutnyttjande_reduktion_ar =
sum(max_forb_diff_manad);
genomsnitt_maxforb_sol = sum(max_forb_sol_manad)/12;
genomsnitt_maxforb_batt = sum(max_forb_batteri_manad)/12;
summa_total_forb_ar = sum(total_forb_ar); %Räknar ut
totalförbrukning per år
summa_sol_ar = sum(total_sol_ar); %Räknar ut total solproduktion per
år
summa_total_forbsol_ar = sum(total_forbel_ar); %Räknar ut total
förbrukning efter sol per år
summa_total_forb_batteri = sum(total_forb_batteri);%Räknar ut total
förbrukning efter batteri per år
max_forb_sol_ar = max(max_forb_sol_vecka); %Topp kWh efter
solproduktion för året
max_forb_batt_ar = max(max_forb_batt_vecka); %Topp kWh efter sol och
batteri

```

```

summa_overskott_ar= sum(overskott_per_vecka); %Summerar överskottet
för ett år
summa_totalt_utmatning_ar = sum(totalt_utmatning_per_vecka);
%Summerar utmatning för ett år
sjalvforsorjande_sol_ar = (summa_sol_ar-
summa_overskott_ar)/summa_total_forb_ar; %Räknar ut
självförsörjandet med enbart solproduktion
sjalvforsorjande_batt_ar = (summa_sol_ar-
summa_totalt_utmatning_ar)/summa_total_forb_ar; %Räknar ut
självförsörjandet med batterilagring
lagrad_kWh_ar = (summa_total_forbsol_ar -
summa_total_forb_batteri)/(Batteri_kapacitet); %Lagrad kWh i
batteriet per lagringskapacitet och år
egen_anvSol = ((summa_total_forb_ar -
summa_total_forbsol_ar)/summa_sol_ar)*100; %Räknar ut egenanvändning
av solcellsproduktionen
egen_anvBatt = ((summa_total_forb_ar -
summa_total_forb_batteri)/summa_sol_ar)*100; %Räknar ut
egenanvändning av batteri och solcellsproduktion

```