

# **ENERGIOPTIMERING**

## **STYRNING VIA HOMIE**

Freddy Häggblom, Oskar Eriksson



2022:10

Datum för godkännande: 16.05.2022  
Handledare: Oskar Hellstrand

# EXAMENSARBETE

## Högskolan på Åland

Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Författare:	Freddy Häggblom, Oskar Eriksson
Arbetets namn:	Energioptimering - Styrning via HomiE
Handledare:	Oskar Hellstrand
Uppdragsgivare:	ACS Infinity Oy Ab

### Abstrakt

I vårt examensarbete skriver vi om olika sätt att reglera och effektivisera elförbrukningen i hemmet. Bakgrunden och syftet med arbetet är att ACS Infinity Oy Ab har ett pågående projekt där de utvecklar hårdvara som skall sköta detta där vi ser över förbättringsåtgärder. Resultatet baseras på följande frågeställning, kan HomiE förbättras? I arbetet tillämpas teorier om reglerteknik och styrteknik. Materialet har analyserats med hjälp av internetsökning samt Matlab. Resultatet visar att större mätningar bör göras för att skapa en modell av uppvärmning av ett hus. Slutsatsen är att spotpris, demand response bör implementeras. Batterilagring ger ingen stor vinst idag, men kommer högst troligt bli aktuell i framtiden. HomiE passar bäst för hushåll som innehar solceller, elbil samt ackumulatortank.

### Nyckelord (sökord)

Energioptimering, Spotpris, Demand Response, AI, Artificiell Intelligens, Hemautomation

Högskolans serienummer:	ISSN:	Språk:	Sidantal:
2022:10	1458-1531	Svenska/Engelska	47 sidor

Inlämningsdatum:	Presentationsdatum:	Datum för godkännande:
18.04.2022	13.05.2022	16.05.2022

# DEGREE THESIS

## Åland University of Applied Sciences

<b>Degree Programme:</b>	Electrotechnical
<b>Author:</b>	Freddy Häggblom, Oskar Eriksson
<b>Title:</b>	Energy Optimizing - Control through HomiE
<b>Academic Supervisor:</b>	Oskar Hellstrand
<b>Commissioned by:</b>	ACS Infinity Oy Ab

### Abstract

In our thesis, we write about different ways to regulate and streamline electricity consumption at home. The background and purpose of the work is that ACS Infinity Oy Ab has an ongoing project where they develop hardware that will handle this where we review improvement measures. The result is based on the following question, can HomiE be improved? In the work, theories about control technology are applied. The material has been analyzed with the help of internet search and Matlab. The results show that larger measurements should be made to create a model of heating a house. The conclusion is that spot price and demand response should be implemented. Battery storage does not make a big profit today, but will most likely be relevant in the future. HomiE is best suited for households that own solar cells, electric cars and accumulator tanks.

### Keywords

Energy optimizing, Spotprices, Demand Response, AI, Artificial intelligence, Home Automation

<b>Serial number:</b>	<b>ISSN:</b>	<b>Language:</b>	<b>Number of pages:</b>
2022:10	1458-1531	Swedish/English	47 pages

<b>Handed in:</b>	<b>Date of presentation:</b>	<b>Approved:</b>
18.04.2022	13.05.2022	16.05.2022

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING/TABLE OF CONTENTS

<b>1. INLEDNING</b>	<b>6</b>
1.1 Motiv för ämnesvalet	6
1.2 Syfte	6
1.3 Frågeställningar och hypoteser	6
1.4 Metodredovisning	6
1.5 Avgränsningar	7
1.6 Definitioner	7
<b>2. BAKGRUND</b>	<b>9</b>
<b>3. FAKTA</b>	<b>10</b>
3.1. HomiE	10
3.2. Spotpris	10
3.3 Demand Response	11
3.4 Lagring av energi	12
3.4.1 Batteri	12
3.4.2 Ackumulator tank	14
3.5 Artificiell Intelligens	15
3.6 Ålands elnät	15
3.7 Solpaneler	16
3.7.1 Scenarion	17
3.7.1.1 Scenario 1	17
3.7.1.2 Scenario 2	17
<b>4. NULÄGESANALYS AV HOMIE</b>	<b>19</b>
4.1 Data från befintliga installationer	19
4.2 Jämförelse med befintliga system från andra leverantörer	19
4.2.1 Open Energy Monitor	19
4.2.2 SAERS	20
4.2.3 Tibber	20
<b>5. ANALYS</b>	<b>21</b>
5.1 Spotpris	21
5.2 Demand Response	21
5.3 Lagring av energi	23
5.3.1 Batteri	23
5.4 Artificiell Intelligens	27
5.4.1 AI-styrning via väderdata	28
5.4.2 AI-styrning via spotpris	31
5.4.3 Viktning AI-styrning	33

5.5 Tillväxt av elbilar på Åland	34
5.5.1 Scenario 1, linjär tillväxt enligt tabell för Åland	36
5.5.2 Scenario 2, exponentiell tillväxt enligt tabell för Åland	37
5.5.3 Scenario 3, exponentiell tillväxt enligt tabell Sverige (räknat per capita)	37
5.5.4 Slutsats av tillväxt av elbilar	38
5.6 Styrning av hårdvara	38
5.6.1 Förbättring av reglering	39
<b>6. FÖRBÄTTRINGSFÖRSLAG</b>	<b>43</b>
<b>7. SLUTSATS</b>	<b>44</b>
<b>8. KÄLLFÖRTECKNING/REFERENCE LIST</b>	<b>45</b>
<b>9. BILAGOR/APPENDICES</b>	<b>48</b>
Bilaga 1, flödesschema	48
Bilaga 2, kod för Matlab simulering	50
Bilaga 3, intervju med ÅEA 17.11.2021	52
Bilaga 4, mailintervju med Kraftnät Åland	54

# 1. INLEDNING

## 1.1 Motiv för ämnesvalet

Automatisering och styrning av elenergi är ett aktuellt ämne då fossila bränslen fasas ut och grön energi fasas in. Samtidigt som denna övergång sker ökar elförbrukningen i takt med att befolkningen ökar. Fler invånare förbrukar el och fler bostäder värms upp med värmepumpar vilka drivs av el samt att elbilar blir allt vanligare. Denna ökning av elförbrukningen leder likaså till ett intresse för automatisering och styrning av elenergi med avseende att spara pengar. Mycket egenproducerad el säljs tillbaka till nätet då t.ex solenergin producerar som mest under dagen då man inte utnyttjar energin själv. Detta resulterar i dålig ekonomi i sin investering. Efter kontakt med Kristoffer Pomrén på ACS Infinity Ltd så berättar han att de själva utvecklar en produkt vars uppgift är att få ekonomin för egenproducerad energi att bli bättre. Detta görs genom automatisering och styrning av när och hur energin skall användas. Något som är av intresse för detta arbete för utvärdering och vidareutveckling.

## 1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utreda nuvarande funktionalitet och eventuella förbättringar för kommande uppdateringar.

## 1.3 Frågeställningar och hypoteser

- Hur implementeras Spotpriser samt står som grund i HomiE?
- Hur implementeras Demand Response i HomiE?
- Hur implementeras batteri/batterilagringssystem i HomiE?
- Hur implementeras Artificiell Intelligens i HomiE?
- Kan energioptimering via HomiE förbättras?

## 1.4 Metodredovisning

Arbetet kommer utföras genom intervjuer, samtal med utvecklare och forskning på internet. Därefter kommer informationen analyseras för vidareutveckling av HomiE.

## 1.5 Avgränsningar

HomiE programmeras idag i JavaScript. Arbetet kommer inte utveckla egen kod utan istället ge förslag på hur koden kan fungera, vilka parametrar den bör ta hänsyn till samt vad den ska göra med parametrarna.

## 1.6 Definitioner

*SSR-relä*, en elektrisk brytare som steglöst kan reglera hur mycket effekt/ström som ska passera brytaren.

*Wp, watt peak*, innebär maximal effekt en solpanel kan producera när den får maximalt solljus riktad på sig.

*Nordpool SE3*, Europas största marknad för elenergi där SE3 är en specifik tariff inom marknaden för t.ex Stockholm och därmed även Åland.

*kWh*, kilowattimme, är ett mått för att mäta energiåtgång. T.ex om man kör en 1000 Watts motor i en timme så förbrukas en kWh.

*DOD, depth of discharge*, anger hur mycket ett batteri har laddats ur i procent i förhållande till den totala kapaciteten.

*API, application programming interface*, är protokollet en applikation använder för extern åtkomst. T.ex. för att hämta information eller styra applikationen.

*Mesh-nät*, varje hårdvara med nät kommunicerar och vidarebefordrar information som sänds. T.ex. om räckvidden är 2 kilometer för den trådlösa radiokommunikationen kan man sända meddelanden mycket längre än det. Detta görs genom att hårdvaran är placerad som en väg med högst 2 kilometer mellan varje hårdvara.

*Mikroproducent och mikroproduktion*, är en definition för småskalig produktion av elektricitet. I regel förnyelsebar elektricitet från sol eller vind.

*Duty cycle*, anger hur stor del av en signal som är påslagen (hög nivå).

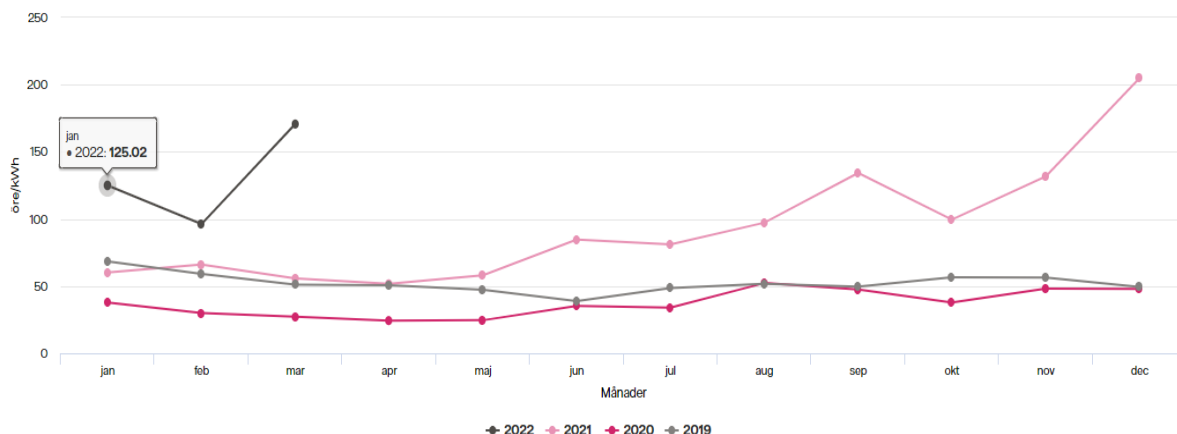
*MPC, model predictive control* är ett sätt att reglera en process med hjälp av en modell av processen.

*Sensibo*, ett produktnamn för en styrenhet till luftvärmepumpar.



## 2. BAKGRUND

Hemautomation har under senare år blivit allt mer intressant då elpriset ser ut att stiga (figur 01).



Figur 01, Elpriset i södra Sverige de senaste åren (Vattenfall, n.d.).

På timbasis kan priset för el vara flera hundra procent dyrare än tidigare år. Detta är något som kan styras för att minska och jämna ut elförbrukningen.

Elpriset inom Europa varierar kraftigt. I Tyskland låg snittpriset för elenergi på ca 32,16 c/kWh (Thalman, 2015) medan priset på Åland låg på ca 14 c/kWh (ÅEA, 2017). Snittpriset för el var ca 130 % dyrare i Tyskland. Denna data visar att sannolikheten för att priset på Åland höjs inte är obefintlig. Därmed ökar intresset för styrning av elförbrukningen.

## 3. FAKTA

### 3.1. HomiE

HomiE är en produkt från ACS Infinity Ltd vilket är ett åländskt företag som sysslar med el, automation och förnyelsebar energi. HomiE koncentrerar sig till att avläsa överflöd av egenproducerad solenergi för att styra den i huvudsak till elbilsladdning samt pådrag av effekt för uppvärmning av ackumulatortank. Uppvärmningen sker inom bestämda gränser där användaren ställer in min- och maxvärde för temperatur. Om temperaturen inte nått maxvärde och överflöd av energi finns höjs uppvärmningen. Om inte överflöd av energi finns och temperaturen går under minvärde tas energi från nätet för att höja temperaturen. HomiE har integration till Sensibo för att styra luft-luftvärmepumpar. I utvecklingsfasen finns även integration till flera invertertillverkare samt andra värmekällor som t.ex bergvärmepumpar.

Homie består av en applikation till telefon där man kan se värden, ställa gränser och styra applikationer och maskiner i hemmet. HomiE består fysiskt av följande komponenter:

- Metalliskt apparatskåp.
- 3-fas energimätare med ethernet.
- 24 V transformator.
- Raspberry PI.
- SSR-reläer.

### 3.2. Spotpris

Till skillnad från det traditionella fasta elpriset där en kund handlar på ett medeltal för hela månaden blir det allt vanligare idag att man väljer ett rörligt elpris, ett så kallat spotpris. Spotpriset grundar sig på tillgång och efterfrågan. Ofta justeras spotpriset dagen före och per timme (Spotpriset.se, n.d.).

Ålands Elandelslag följer spotpriser från Nordpool som är en stor marknad inom Europa för handel av elenergi (bilaga 3). Åland hamnar inom region SE3 och följer därmed samma pristabell som t.ex Stockholm (figur 02).

EUR/MWh

04-02-2022	SYS	SE1	SE2	SE3
00 - 01	87,68	14,65	14,65	94,07
01 - 02	70,83	14,43	14,43	75,87
02 - 03	53,21	14,15	14,15	33,81
03 - 04	47,55	13,87	13,87	20,21
04 - 05	44,53	13,80	13,80	16,89
05 - 06	43,59	13,66	13,66	23,97
06 - 07	74,94	14,03	14,03	55,02
07 - 08	106,71	14,02	14,02	128,56
08 - 09	110,83	14,33	14,33	129,69
09 - 10	109,16	14,39	14,39	115,46
10 - 11	106,32	14,44	14,44	77,47
11 - 12	102,35	14,47	14,47	32,80
12 - 13	87,43	14,32	14,32	29,91
13 - 14	67,45	14,28	14,28	14,28
14 - 15	57,22	14,37	14,37	14,37
15 - 16	71,86	14,59	14,59	36,04
16 - 17	101,01	14,99	14,99	82,49
17 - 18	113,59	15,55	15,55	125,36
18 - 19	117,02	15,91	15,91	125,00
19 - 20	101,06	16,09	16,09	50,11
20 - 21	67,30	16,22	16,22	21,97
21 - 22	50,37	16,55	16,55	20,10
22 - 23	44,16	15,78	15,78	43,88
23 - 00	24,25	15,37	15,37	15,37

Figur 02, Exempel på hur spotpriset ändras under en dag (NordPool, n.d.).

### 3.3 Demand Response

*Demand response* grundar sig i att bibehålla god kvalitet på elnätet. Elleverantören skickar en begäran till konsumenten om att dra ner på energiförbrukningen. Detta görs för att förhindra en sänkning av frekvensen på nätet eller för att förhindra en överbelastning av nätet. Typiskt när man pratar om *demand response* för frekvensstyrning är att minskningen ska ske snabbt och helst under en sekund. Andra uttryck av *demand response* kan vara att elpriset är högt då man förväntar sig att folk skall laga middag (stor efterfrågan) vilket resulterar i att man vill undvika använda el då elpriset är högt.

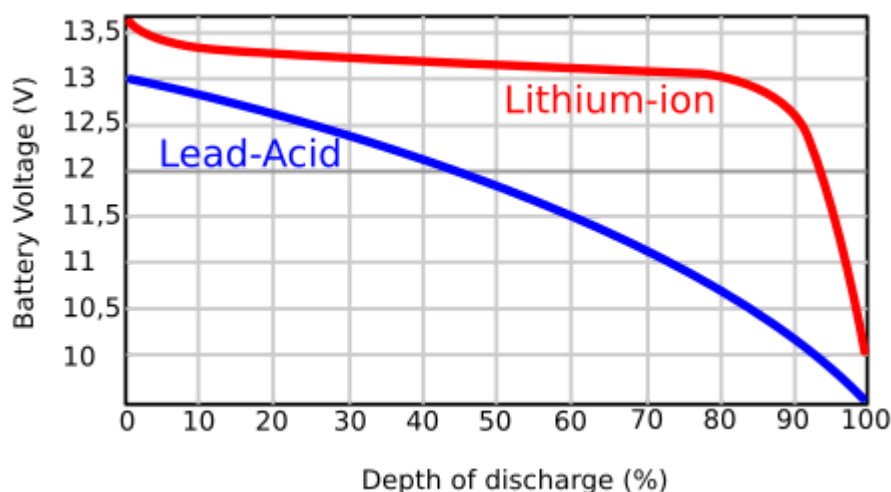
## 3.4 Lagring av energi

### 3.4.1 Batteri

Blybatteriet används vanligtvis i bilar (bilbatteri). Jämfört med modernare litiumbatterier har blybatteriet relativt låg energitäthet. Batteriet är billigt och säkert men stort och tungt.

Livslängden uppskattas till 300-400 cykler där en cykel innebär en full upp- och urladdning. Den nominella cellspänningen ligger på 2,1 V och självurladdningen på ungefär 3-20 % per månad (Wikipedia contributors, 2022b).

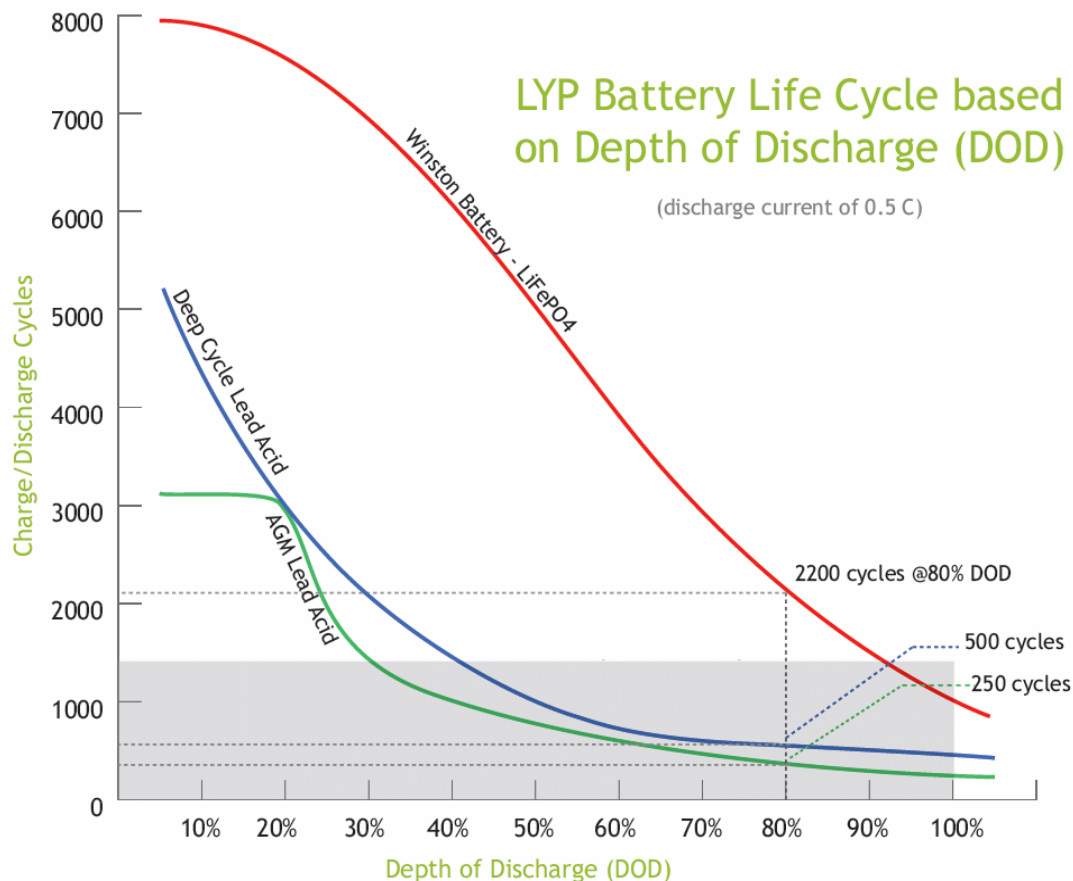
Litium-jon-batteriet används t.ex. i mobiltelefoner och liknande elektronisk utrustning men även i elbilar och vid lagring av elenergi. Batteriet har större andel av sin energi tillgänglig än blybatteriet (figur 03). Litium-jon-batteriet har hög energitäthet vilket gör det litet. Batteriet är dyrt och kan vara farligt om det blir skadat eller vid laddning och därför är användning av skyddskrets obligatorisk då man laddar batteriet. Laddningen sker enligt ett konstant-ström/konstant-spänning-sätt för att skydda cellerna. Livslängden uppskattas till 1000+ cykler. Cellspänningen ligger på 3,3-3,7 V och självurladdningen på ungefär 1-3 % per månad. Kemi, prestanda, kostnad och säkerhet varierar mellan olika typer av litiumbatterier (Wikipedia contributors, 2022d).



Figur 03, Visar spänningen som funktion av DOD mellan ett blybatteri och ett litium-jon-batteri (Zwerfcat, n.d.).

Litium-jon-polymer (lipo) är en annan typ av litiumbatteri. Istället för en flytande elektrolyt använder man sig av en polymergel som elektrolyt. Detta gör att ett batteripack av denna typ kan anpassas till form och storlek enligt behov. Litium-jon-polymer har en högre energitäthet än andra litiumbatterier. Cellspänningen ligger på 3,6-3,7 V och självurladdningen på ungefär 5 % per månad. På grund av sin lätta vikt och goda formbarhet används batteriet i telefoner, tunna laptops och annan elektronik men även i el- och hybridbilar (Wikipedia contributors, 2022a).

Litium-järn-fosfat (lifepo<sub>4</sub>) är en ytterligare typ av litiumbatteri vilken använder litium-järn-fosfat som material för katoden. Energitätheten är något sämre än hos andra litiumbatterier men litium-järn-fosfat har större andel av sin energi tillgänglig under längre tid (figur 04). På grund av sin termiska och kemiska stabilitet har batteriet god säkerhet och klarar höga urladdningsströmmar. Livslängden uppskattas till 3000+ cykler och under optimala förhållanden till 10000+ cykler. Cellspänningen ligger på 3,2 V. Denna batterityp används t.ex. i elbilar och reservkraftsanläggningar på grund av sin goda säkerhet och livslängd (Wikipedia contributors, 2022c).



Figur 04, visar cykler som funktion av DOD mellan ett blybatteri och ett litium-järn-fosfat-batteri (Global World Logistic et al., n.d.).

Batterilagringsystem används vid off-grid- och reservkraftsanläggningar men även vid lagring av egenproducerad elenergi och energioptimering. Det finns olika tillverkare där pris och prestanda varierar. Dessa energibankar är ofta kompletta system vilka består i allmänhet av följande komponenter:

- Batteri som innehåller individuella celler vilka är uppladdningsbara. Cellerna laddas upp med likström. Antalet celler beror på önskad spänning och kapacitet.
- Inverter-/laddningsenhet som omvandlar likström till växelström för förbrukning i hemmet och växelström till likström för uppladdning från elnätet.
- Skyddskrets som skyddar och övervakar batteriet vid drift och uppladdning.

### 3.4.2 Ackumulatortank

För att värma upp en liter vatten (ca 1000 gram) med en grad Celsius krävs 4000 Joule. I ett medelstort hus kan en varmvattenberedare med en volym på 250-300 liter vara passlig. För

att höja temperaturen i en 300 liters varmvattenberedare med 1 grad går det åt 1 200 000 Joule. Detta kan jämföras med att en kWh motsvarar 3 600 000 Joule vilket resulterar i att vid höjning av en grad krävs ca 0,33 kWh. Har man då en överskottsenergi på 330 Wh och kör in den effekten i varmvattenberedaren kommer temperaturen att höjas cirka en grad (NordicHeating, n.d.).

Energiåtgång för uppvärmning av ett hus varierar kraftigt beroende på hur huset är byggt. Ett genomsnittsvärde man kan räkna med är 107 kWh/m<sup>2</sup> för uppvärmning och varmvatten under ett år. Ett hus på 150 m<sup>2</sup> förbrukar därmed ca 16000 kWh under ett år för uppvärmning av hus samt varmvatten (Energimyndigheten, n.d.).

### **3.5 Artificiell Intelligens**

Artificiell intelligens är ett brett uttryck men kan ses som förmågan hos en dator att efterlikna mänskligt beteende gällande inläring, planering och besluttagande. Långt utvecklade AI-datorer kan även bearbeta resultat av sina egna tidigare beslut och utvärdera om de blev bra eller dåliga för att ta nya beslut baserade på det. I dagsläge är artificiell intelligens applikationsspecifik. Det betyder att man inte ännu lyckats skapa en dator som kan agera som en människa i alla sammanhang. Man har däremot kommit så långt att man kan programmera datorn att ta egna beslut i vissa situationer.

### **3.6 Ålands elnät**

Ålands elnät är något speciellt då Åland är en ö och får sin elenergi från fasta Finland samt Sverige. Däremot har Åland idag 19 vindkraftverk vilka uppskattas producera ca 60 GWh/år. Ålands totala elförbrukning ligger på ca 310 GWh årligen (Allwinds, 2018). Åland planerar dessutom en massiv vindkraftspark. Parken planeras producera oerhörda mängder energi för både Finland och Sverige.

Kraftnät Åland är ägare av stamnätet för elenergi på Åland och sköter driften av det. Stamnätet får sin energi från Sverige och fasta Finland och består av 110 kV och 45 kV ledningar med stationer. De är ansvariga för elen på Åland och till deras uppgift hör att

bibehålla balans mellan importerad energi och producerad energi mot förbrukad energi. De ser även till att reservkraft finns tillgänglig vid behov i stamnätet (Kraftnät Åland, n.d.).

Ålands Elandelslag (ÅEA) får sin elenergi från stamnätet och levererar den vidare till sina kunder. ÅEA sköter om elförsörjningen på landsbygden och i skärgården och deras nät består av 10 kV och 0,4 kV ledningar med stationer (*Ålands Elandelslag*, 2016). Mariehamns Energi fungerar liknande men försörjer sina kunder i Mariehamn, Järsö och delar av Jomala (Mariehamns-Energi, n.d.).

Kraftnät Åland sköter endast stamnätet medan ÅEA, Mariehamns Energi och Allwinds är de företag som importerar elenergi och bedriver elhandel.

### 3.7 Solpaneler

Solpaneler tillverkas idag på många olika sätt och i olika effektklasser, men den relevanta siffran för beräkningar är verkningsgraden generellt för solpaneler, som idag ligger runt 20 % i bästa fall (*Solceller*, n.d.).

1 086 014 W/m<sup>2</sup> var den totala solenergin som strålade på mätstationen "Svenska Högarna" i Östersjön under perioden 01.10.2020-01.10.2021 (SMHI, n.d.-c). Denna strålningsmängd skulle med en solpanel som lyckas fånga upp all strålning innebära en produktion på  $1\,086\,014 \cdot 0,2 = 217\,202\text{ W/m}^2 = 217,2\text{ kW/m}^2$  under denna period. Mängden uppfångad solenergi uppskattas av oss till ca 60 % i medeltal, då solpaneler oftast fastmonteras i en viss riktning och inte kan fånga all solenergi som strålas vilket skulle ge en sluteffekt på ca 130 kW/m<sup>2</sup> under denna period. En normal anläggning för ett egna hemshus brukar röra sig mellan 12-16 paneler varav varje panel är ca 2 m<sup>2</sup> stor, detta innebär för en anläggning med 16 paneler att man producerar ca 4200 kWh under ett år i våra förhållanden.

Inbesparingen med en sådan anläggning beräknad med priser per kWh som ÅEA erbjuder till normal tariff (14,47 c/kWh (ÅEA, 2017)) hamnar då på ca 600 € per år om man lyckas utnyttja all egenproducerad energi.



Energi som inte utnyttjas själv kan säljas tillbaka till t.ex. ÅEA, där dom betalar snittpriset för energin som varit senaste månaden enligt Nordpool SE3.

Ju fler hushåll som använder sig av egenproducerad solenergi desto mer minskar effekten på stamnätet. Detta måste dock tas med en nypa salt för då när de stora effekterna krävs på stamnätet så producerar sannolikt solpaneler väldigt lite energi, t.ex. så laddas ofta elbilar på nätter då ingen solenergi produceras eller så kan ett kallt uteväder kräva mycket energi men då produceras sällan stora mängder energi.

### 3.7.1 Scenarion

I december 2020 fanns 14 243 bebodda bostäder på Åland. Totalt fanns ca 17000 bostäder, vilket innebär att ca 2800 är obebodda eller inte stadigvarande bebodda. Totalt förbrukades 327,2 GWh under 2021 (Kraftnät-Åland, n.d.). Scenarion nedan visar en hypotetisk produktion av mikroproducenter under soligt väder.

#### 3.7.1.1 Scenario 1

2000 bostäder får solpaneler installerade. Vi antar en normalstor anläggning som vi tidigare räknat på 16 paneler där varje panel ligger på 370 Wp. Uträkning baserad på tidigare energiupptagning under ett år innebär  $4200 \text{ kWh} \cdot 2000 \text{ bostäder} = 8\,400\,000 \text{ kWh} = 8400 \text{ MWh} = 8,4 \text{ GWh}$  total produktion. Detta innebär att mikroproducenterna skulle stå för ca 2,6 % av energin som åtgår under ett år på Åland.

Uträkning på Wp, skulle innebära en momentan effekt om  $370 \cdot 16 \cdot 2000 = 11\,840\,000 \text{ W} = 11\,840 \text{ kW} = 11,8 \text{ MW}$  om alla tar upp full effekt samtidigt, vilket kan jämföras mot en ungefärlig förbrukning för hela Åland som ligger mellan 30-80 MW momentant under en eftermiddag. Detta skulle momentant innebära att mikroproducenterna står för ca 20% av förbrukningen just då.

#### 3.7.1.2 Scenario 2

5000 bostäder får solpaneler installerade. Samma anläggningsstorlek som föregående scenario skulle innebära en total produktion av  $4200 \text{ kWh} \cdot 5000 = 21\,000\,000 \text{ kWh} = 21\,000 \text{ MWh} = 21 \text{ GWh}$ , vilket motsvarar ca 6,5 % av totala förbrukningen.

Momentant skulle en produktion om  $ca\ 370 \cdot 16 \cdot 5000 = 29\ 600\ 000\ W = 29\ 600\ kW = 29,6$  MW kunna uppstå, vilket innebär att mikroproducenterna då skulle stå för ca 60 % av förbrukningen.

## 4. NULÄGESANALYS AV HOMIE

### 4.1 Data från befintliga installationer

I dagsläge finns tyvärr ingen installation av HomiE att hämta data ifrån för analys och jämförelse.

### 4.2 Jämförelse med befintliga system från andra leverantörer

#### 4.2.1 Open Energy Monitor

Open Energy Monitor är ett projekt startat för att vara ett open-source verktyg för att enkelt avläsa och styra elanvändning (figur 05). Mjukvaran som används är designad för emonPi som kan ses som en “allt-i-ett” Raspberry Pi (OpenEnergyMonitor, n.d.).



Figur 05, Marknadsföring av Open Energy Monitor.

Med Open Energys mjukvara kan man avläsa aktuell förbrukning och produktion, logga data samt läsa av viktiga parametrar för energioptimering m.m. Open Energy Monitor erbjuder alltså komponenter som kunden själv plockar ihop till ett system med friheten att begränsa sig till vissa mätningar och styrningar (OpenEnergyMonitor, n.d.).

#### **4.2.2 SAERS**

Salabostäder Automationsföretaget Energy Reduce System är ett bolag som koncentrerat sig till ett system som implementeras i Sala Bostäder. Det tar i huvudsak in data om aktuell innetemperatur, utetemperatur och kommande väder. Baserat på den datan minskar eller ökar uppvärmningen före utetemperaturen ökar eller minskar och sparar på så vis energi (Instalco AB, n.d.).

#### **4.2.3 Tibber**

Tibber är ett svenskt företag som till funktion liknar HomiE. Tibber, likt HomiE, erbjuder ett paket som inkluderar en mobilapplikation samt hårdvara som installeras i hemmet där man kan följa upp energiåtgång, temperaturer och mycket mer. Tibber tar in spotpriset för elenergi och laddar t.ex elbilen när elen är som billigast (Tibber, n.d.).

## 5. ANALYS

Något att ta hänsyn till vid vidareutveckling av HomiE är att idag faktureras elenergi på basen av kWh men kan ändras till t.ex. på basen av effektförbrukningstopp per timme, dygn eller månad (finns många olika varianter) (bilaga 3). I detta exempel vill man inte förbruka mycket el samtidigt utan istället sprida ut energiförbrukningen för att få god ekonomi. Med detta sagt kan HomiE behöva anpassa sig vid en eventuell förändring av fakturering och agera på ett annat sätt.

Något som kan främja utvecklingen av energioptimering för villor är då mikroproducenter ökar förlorar energibolag volymer vilket kan resultera i högre avgifter (bilaga 3). Högre avgifter ger ytterligare orsak till att optimera elförbrukningen.

### 5.1 Spotpris

Spotpriset som sätts dagen före eller samma dag kan prenumereras på så att man får det i realtid. Att använda spotpriset som en indikator för att höja eller sänka elförbrukningen bör fungera bra. Datan kan tas emot till HomiE-server som bearbetar datan och skickar ut riktgivande information till HomiE-enheter om när t.ex uppvärmning skall ske med större effekt eller lägre effekt samt när laddning till fordon skall ökas eller minskas.

Kostnad för en årsprenumeration för denna typ av data för Finland ligger nu på 900 €/år. För att kunna använda sig av sådan data måste en licenskostnad för HomiE föreligga.

Kostnaden för en årsprenumeration för hela Norden samt Baltikum kostar 3500 €/år. Med detta anser vi att HomiE bör starta försäljningen inom ett land och se till att de får en attraktiv produkt där licensintäkter täcker och ger vinst för prenumerationskostnaden för denna data.

### 5.2 Demand Response

*Demand response* betyder i grunden att kunden anpassar sitt behov efter den angivna effekten på nätet. I dagsläget finns det ingen lag som kräver att man som kund går med på detta, men det kan i värsta fall leda till att nätet blir överbelastat med en blackout som resultat. Efter

intervju med Ålands Elandelslag samt Kraftnät Åland visade det sig att det finns ett intresse om inte till och med ett måste för att implementera *demand response* i någon form i framtiden. I t.ex Sverige finns aggregatorer som sluter avtal med kunderna om att på begäran dra ner på effekten då aggregatorn får denna begäran från SVK (Svenska Kraftnät). Vinsten i detta fås då aggregatorn får en summa pengar från SVK för att kunna dra ner på effekten för att i vanliga fall kunna reglera frekvensen på nätet (bilaga 3). Av dessa pengar delas sedan en del ut till kunderna som då får betalt för att ha dragit ner på sin effekt. I detta fall har aggregatorn installerat nödvändig utrustning hos kunden för att kunna stänga ner vissa förbrukare via internet.

*Demand response* har direkt koppling till spotpriset på energi, då energin är som dyrast och det används som mest energi kan det finnas risker för överbelastningar. Här finns alltså en vinning, trots att man inte får en begäran om att dra ner på effekten, att dra ner på effekten för att energin är dyr. Med andra ord kan man utöver signalen från elleverantören se höga spotpriser som en signal för att dra ner på effekten i hemmet.

En stor förbrukare i hemmet som med fördel kan styras via *demand response* skulle vara laddning av elbil.

Signalen för *demand response* till HomiE måste transporteras snabbt för att i framtiden kunna erbjuda frekvensstyrning, alltså att signalen kommer från antingen nätinnehavaren eller kraftleverantören. Ålands Elandelslag har i sina nuvarande elmätare möjlighet att skicka en signal som aktiverar ett 230 V:s relä (se bilaga nr 3), men denna signal skulle i så fall gå via deras radio mesh-nät, som i praktiken innebär att det kan ta väldigt lång tid för signalen att nå fram om den når fram. Signalen skulle därför behöva transporteras via internet, vilket kräver att HomiE har uppkoppling mot internet hela tiden. Ett förslag skulle vara att Ålands Elandelslag skapar ett enkelt API som HomiE läser av kontinuerligt. Denna styrning skulle erbjudas alla kunder hos HomiE, även om kunden inte är intresserad av att elförbrukare skall stängas av vid hög effekt på nätet så skulle kunden kunna få en notifikation i appen att elleverantören skickat en begäran om att ta ner effekten för att sedan själv ta beslut om att stänga av vissa förbrukare, då denna signal är ett tecken på att även kostnaden för elen är dyr just då. Detta gäller dock enbart om kunden har ett rörligt elavtal (spotpris).

## 5.3 Lagring av energi

### 5.3.1 Batteri

Som tidigare sagt fångar solpaneler mest solenergi på dagen då man troligtvis inte är hemma för att använda den. Istället för att sälja solenergin för att sedan köpa tillbaka den då man behöver den kan man lagra den. Eller då man använder sig av spotpris och priset för el ofta är dyrare på dagen än på natten. Då kan man lagra energi när priset är lågt för att sedan använda energin då priset är högt.

Vid implementering av batteri i HomiE för energilagring beaktas inte energitäthet hos batteriet. Storlek tas därför inte i beaktande.

*Tabell 01, Jämförelse mellan ett blybatteri och ett litium-järn-fosfat-batteri av samma energimängd och tillverkare (Batteriexperten, n.d.).*

Typ	Spänning [V]	Kapacitet [Ah]	Pris [Euro]	Cykler	Energi [kWh]	Energi över hela livslängden [kWh]	Euro/kWh
Blybatteri MX12-100 (AGM)	12	100	280.30	300	1.2	360	0.78
Litium-järn-fosfat-batteri MX12-100MLI	12	100	1064.94	3000	1.2	3600	0.30

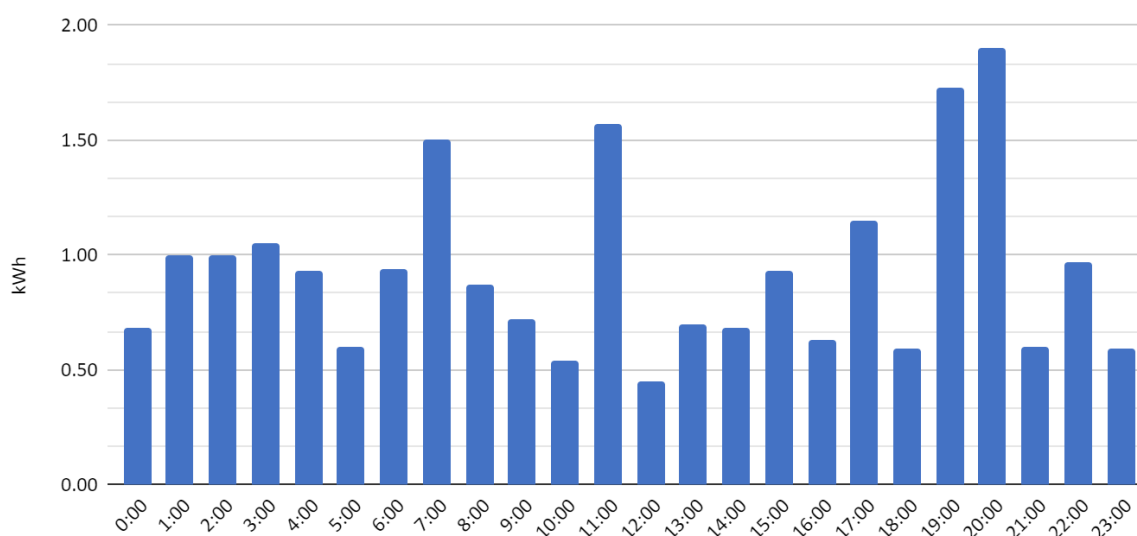
Enligt formeln energi = kapacitet \* spänning, Wh = Ah \* V, kan man räkna ut batteriets energi från den givna datan i blått (tabell 01). Dividerar man priset med den totala energin räknad över hela livslängden får man pris/kWh. Enligt denna jämförelse ser man att pris/kWh är större än det dubbla för ett blybatteri. Det lönar sig att investera i ett dyrare litium-järn-fosfat-batteri. I dessa beräkningar tas endast DOD ner till ca 80 % i beaktande.

ÅEA:s normaltariff från 01.05.2022 ligger på 15,95 cent/kWh (ÅEA, 2017). Detta innebär att euro/kWh för ett litium-järn-fosfat-batteri enligt tabellen ovan nästan är det dubbla (tabell 01). Ett liknande litium-järn-fosfat-batteri med samma energimängd kostar 680 euro från en annan tillverkare (Global World Logistic et al., n.d.). Dividerar man det priset med den totala

energin räknad över hela livslängden får man 0,19 euro/kWh vilket närmar sig priset för ÅEA:s normaltariff.

Ett batteri enligt ovan kan användas för att jämna ut toppar av förbrukningen under ett dygn. Detta görs genom att ladda batteriet då egenproducerad solenergi finns för att sedan ta energin från batteriet vid toppar av förbrukningen. Från figur 06 och figur 07 kan dessa toppar uppskattas till 3,06 kWh och 1,47 kWh (förbrukningen vid tiden för topparna vilken överstiger dygnets medelförbrukning). Medeltalet för dessa blir 2,27 kWh. På tio år blir siffran 8285,5 kWh. Detta blir en kostnad på 1321,54 euro enligt ÅEA:s normaltariff från 01.05.2022 (ÅEA, 2017). Då det krävs fler än ett batteri för nödvändig energimängd blir resultatet att det lönar sig inte med batteri då elpriset från leverantör är lägre än inköpspriset för batterierna (litium-järn-fosfat). Dessutom finns inte solenergi tillgänglig varje dag under ett år för uppladdning av batteri.

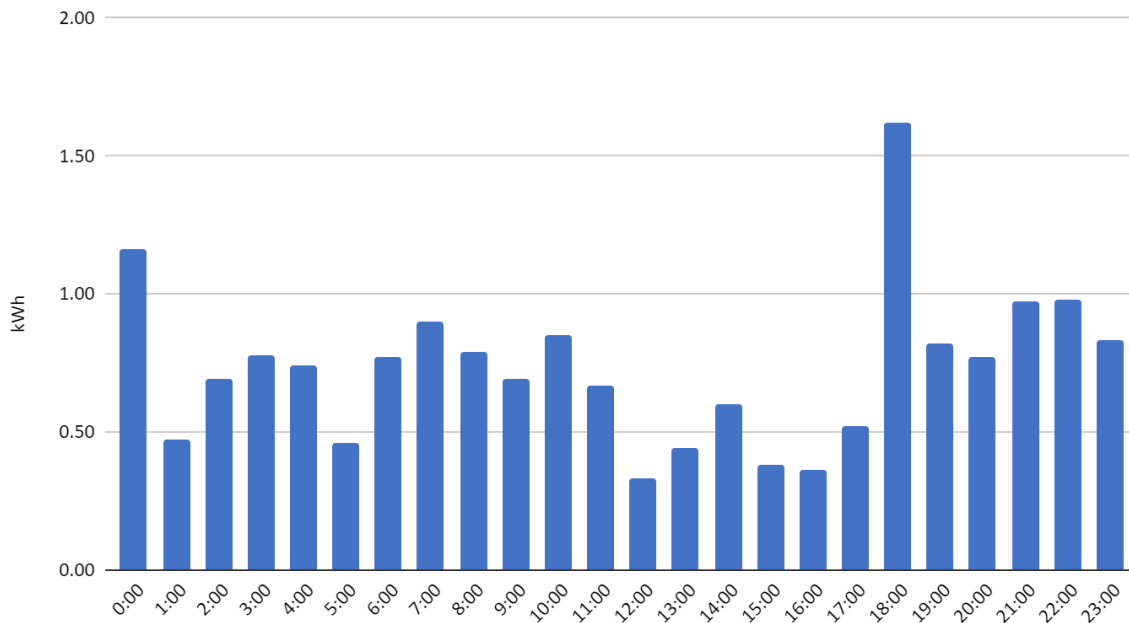
Elförbrukning per 20.03.2022 modernt egnahemshus, 150 kvm, bergvärme



Figur 06, Energiförbrukning i egnahemshus.

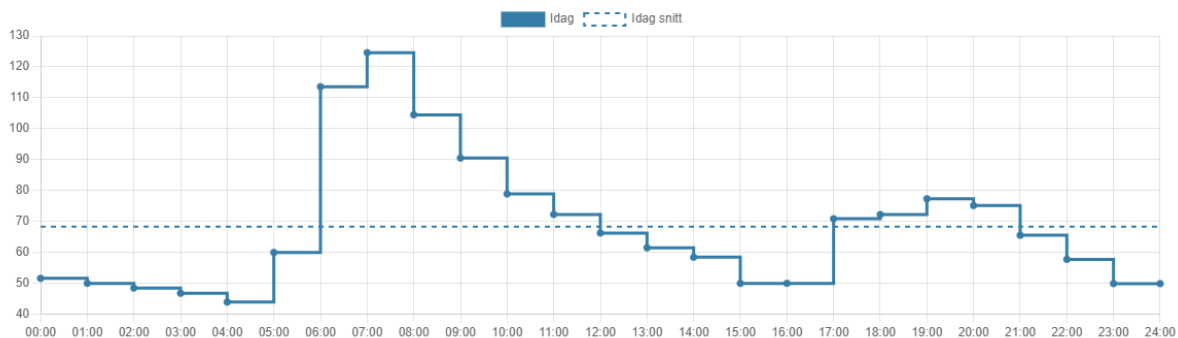


Elförbrukning per 21.03.2022 modernt egnahemshus, 150 kvm, bergvärme



Figur 07, Energiförbrukning i egnahemshus.

På liknande sätt kan man jämnat ut priset under ett dygn då man använder sig av spotpris. Detta görs genom att ladda batteriet då priset är lågt för att sedan ta energin från batteriet då priset är högt. Enligt figur 08 kan man på förhand räkna ut ett medelpris för kommande dygn. Då priset stiger över medelpriset tar man energi från batteriet. Den förbrukade energin enligt figur 06 och figur 07 då priset var högre än medelpriset uppskattas till 11,62 kWh och 8,36 kWh. Medeltalet för dessa blir 9,99 kWh. Följer man spotpriset blir kostnaden 88,66 cent. Laddar man istället batteriet för ca 5 cent/kWh på natten för att sedan använda energin då priset stiger över medelpriset på dagen blir kostnaden 49,95 cent/kWh. Här sparar man 1412,92 euro på 10 år. Batterier med en energimängd på 10 kWh är betydligt dyrare än så. Dessutom tillkommer extra kostnader för ÅEA:s spotpris (ÅEA, 2017).



Figur 08, Spotpris för SE3 04.04.2022.

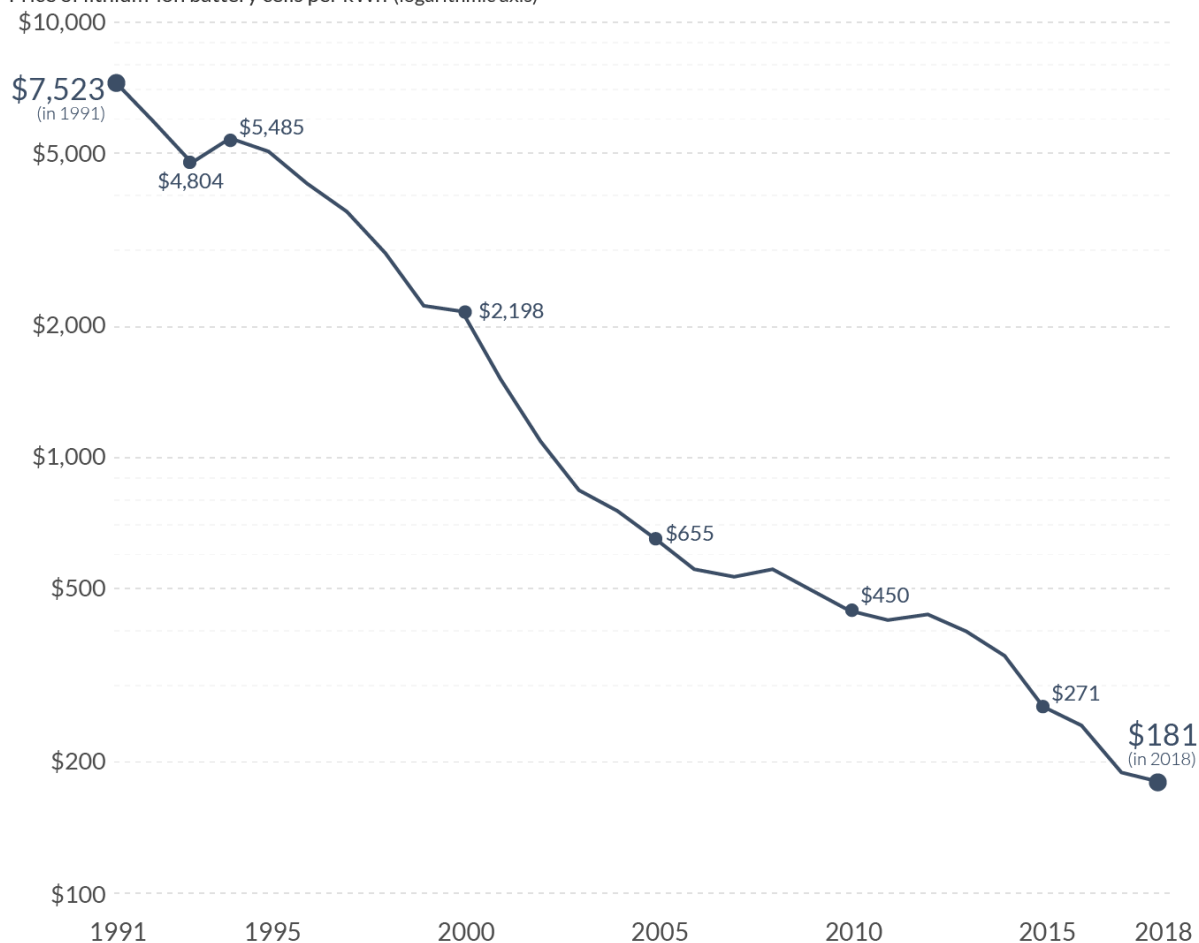
Då erforderlig energimängd enligt ovan ligger på 10 kWh väljer man ett batterilagringsystem för bättre ekonomi och finess. Kör man t.ex. en Tesla Model 3, 60 kWh, 100 km går det åt ca 14 kWh (Wikipedia contributors, 2022e). Laddar man sedan bilen fullt från ett batteri är den erforderliga energimängden 14 kWh. Likaså här väljer man ett batterilagringsystem. Ett par kända batterilagringsystem är Tesla Powerwall och SolarEdge Energy Bank. Tesla Powerwall har en energimängd på 13,5 kWh och kostar 7360 euro (Europe-Solarstore, n.d.-b). För att få en referens kan man räkna en cykel per dag i tio år då garantin gäller i tio år vilket resulterar i 0,15 euro/kWh. SolarEdge Energy Bank har en energimängd på 10 kWh och kostar 5995 euro (Europe-Solarstore, n.d.-a). Då garantin gäller likaså i tio år blir resultatet 0,16 euro/kWh. Euro/kWh hos dessa energibankar är lägre än ÅEA:s normaltariff från 01.05.2022 (ÅEA, 2017) vilket kan göra det lönsamt för implementering av batterisystem vid energioptimering. Däremot är marginalerna små vilket leder till att dessa system används främst vid off-grid- och reservkraftsanläggningar hos oss idag.

Idag är kostnaden för batterier och batterilagringsystem för hög gentemot elpriset för att tjäna pengar på implementering av batteri för energioptimering. Höjningen av elpriset (figur 01) tillsammans med prissänkningen av batterier (figur 09) kan leda till att implementering av energilagring för energioptimering lönar sig i framtiden.

## The price of lithium-ion batteries fell by 97%

Our World  
in Data

Price of lithium-ion battery cells per kWh (logarithmic axis)



Prices are adjusted for inflation and given in 2018 US-\$ per kilowatt-hour (kWh).

Source: Micah Ziegler and Jessica Trancik (2021). Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline.

OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems. Licensed under CC-BY by the author Hannah Ritchie.

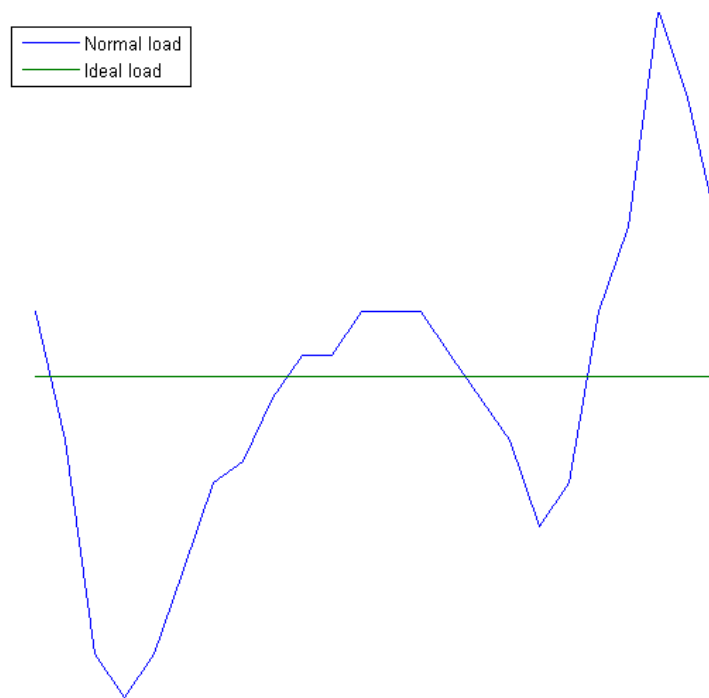
Figur 09, Prissänkningen av litium-jon-batterier.

### 5.4 Artificiell Intelligens

Det kan uttrycka sig i t.ex vårt fall att minnas hur mycket energi vi förbrukar vissa veckodagar med ett visst väder, och därefter ta beslut om vi skall lagra energi på förhand eller inte. Beslut tagna på basis av spotpriset kan också ses som en enklare typ av AI, då den skall klara av att ta egna beslut.

Utöver detta skulle HomiE kunna läsa av dygnsanvändningen i kWh och under vilka tider toppar av förbrukningen sker, samt under vilka tider man använder som minst el. Här skulle HomiE sedan ge förslag baserat på avläsningen om vilka förbrukare som varit aktiva under

den högsta förbrukningen om att flytta någon av dessa aktiviteter till den tid när förbrukningen är låg och på så vis jämna ut förbrukningskurvan.



*Figur 10, Idealisk förbrukning mot generell förbrukning i ett egnahemshus.*

Detta hänger även ihop med spotpriser. När topparna sker är troligtvis elen som dyrast.

#### **5.4.1 AI-styrning via väderdata**

Väderdata för Mariehamn kan hämtas gratis via SMHI (*SMHI API*, n.d.). Här fås data för följande parametrar:

Parameter	Unit	Level Type	Level (m)	Description	Value range
msl	hPa	hmsl	0	Air pressure	Decimal number, one decimal
t	C	hl	2	Air temperature	Decimal number, one decimal
vis	km	hl	2	Horizontal visibility	Decimal number, one decimal
wd	degree	hl	10	Wind direction	Integer
ws	m/s	hl	10	Wind speed	Decimal number, one decimal
r	%	hl	2	Relative humidity	Integer, 0-100
tstm	%	hl	0	Thunder probability	Integer, 0-100
tcc_mean	octas	hl	0	Mean value of total cloud cover	Integer, 0-8
lcc_mean	octas	hl	0	Mean value of low level cloud cover	Integer, 0-8
mcc_mean	octas	hl	0	Mean value of medium level cloud cover	Integer, 0-8
hcc_mean	octas	hl	0	Mean value of high level cloud cover	Integer, 0-8
gust	m/s	hl	10	Wind gust speed	Decimal number, one decimal
pmin	mm/h	hl	0	Minimum precipitation intensity	Decimal number, one decimal
pmax	mm/h	hl	0	Maximum precipitation intensity	Decimal number, one decimal
spp	%	hl	0	Percent of precipitation in frozen form	Integer, -9 or 0-100
pcat	category	hl	0	Precipitation category	Integer, 0-6
pmean	mm/h	hl	0	Mean precipitation intensity	Decimal number, one decimal
pmedian	mm/h	hl	0	Median precipitation intensity	Decimal number, one decimal
Wsymb2	code	hl	0	Weather symbol	Integer, 1-27

Figur 11, Parametrar i json-fil från SMHI (SMHI, n.d.-a).

Viktiga parametrar för att kunna styra uppvärmning och fördelning av energi skulle i vårt fall vara tcc\_mean som anger hur molnigt det kommer vara på en skala från 0 till 8, samt t som anger vad temperaturen kommer vara.

Efter test i programmet Node-RED ser vi att vi enkelt kan plocka ut dessa parametrar efter konvertering till objekt enligt följande figur:

```

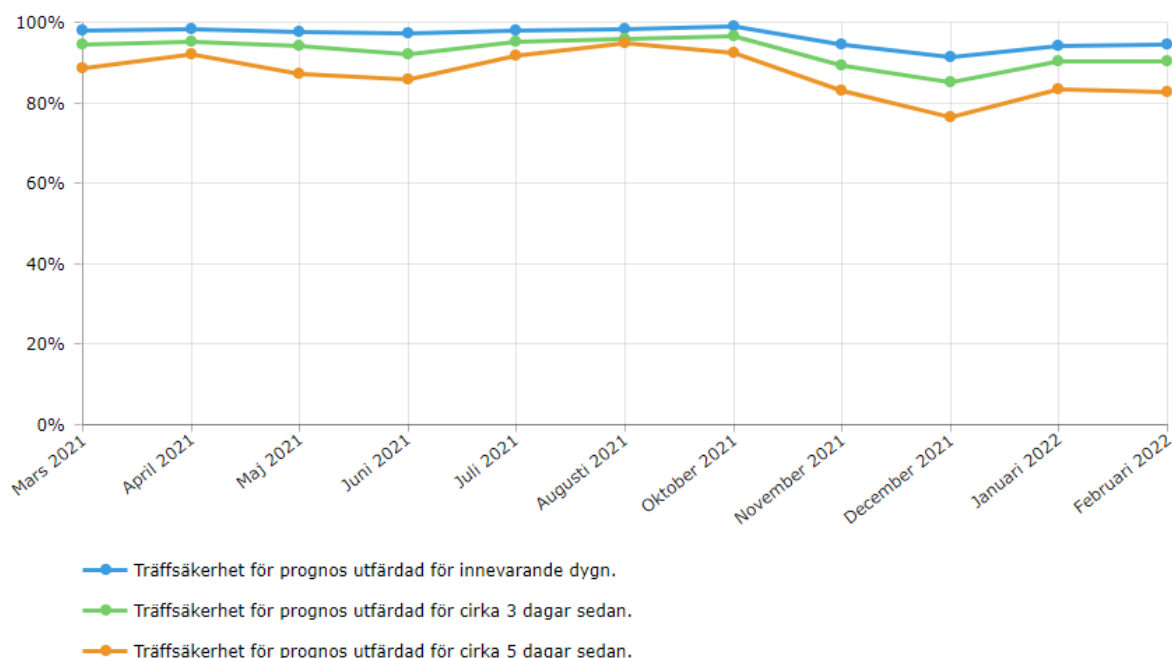
approvedTime: "2022-03-18T11:04:11Z"
referenceTime: "2022-03-18T11:00:00Z"
▶ geometry: object
▼ timeSeries: array[74]
  ▼ [0 ... 9]
    ▶ 0: object
    ▼ 1: object
      validTime: "2022-03-18T13:00:00Z"
      ▼ parameters: array[19]
        ▼ [0 ... 9]
          ▶ 0: object
          ▶ 1: object
          ▶ 2: object
          ▶ 3: object
          ▶ 4: object
          ▶ 5: object
          ▼ 6: object
            name: "tcc_mean"
            levelType: "h1"
            level: 0
            unit: "octas"
            ▼ values: array[1]
              0: 8
          ▶ 7: object
          ▶ 8: object
          ▶ 9: object
        ▼ [10 ... 18]
          ▼ 10: object
            name: "t"
            levelType: "h1"
            level: 2
            unit: "Cel"
            ▼ values: array[1]
              0: 3.6

```

Figur 12, Data inläst via Node-red från SMHI.

Denna data sträcker sig 10 dygn framledes, och HomiE skulle därmed enkelt kunna ta beslut om t.ex uppvärmning av vattentank (t.ex förutspås molnigt och kallt väder dagen efter - värm

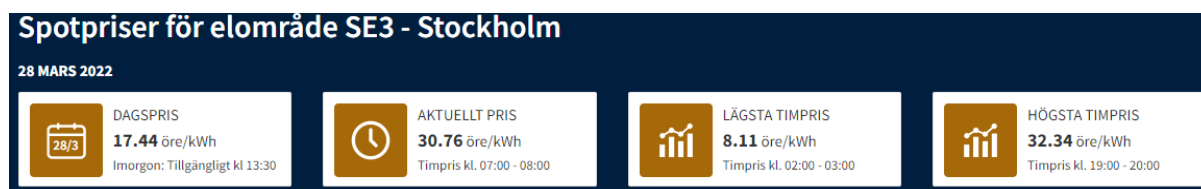
upp varmvattenberedare till max). Denna typ av integration skulle dock kräva positionsbestämd data för där HomiE-enheten befinner sig, då vädret kan variera kraftigt på olika platser även inom Åland. Hur långt före en styrsignal skall anses som tillförlitlig från denna data är relativt, då prognoserna aldrig visar hundra procentig data.



Figur 13, SMHI:s träffsäkerhet för temperatur (SMHI, n.d.-b).

### 5.4.2 AI-styrning via spotpris

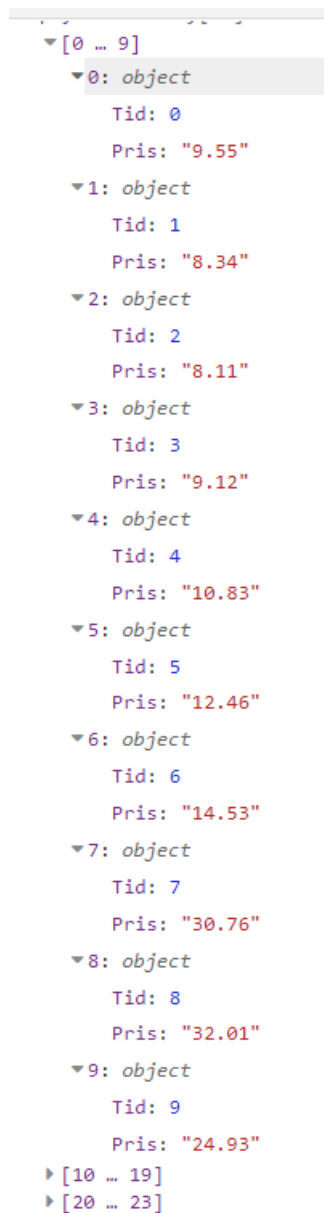
Som tidigare nämnt så varierar spotpriset väldigt mycket beroende på omliggande faktorer runt om i världen. Om HomiE skall beakta hela dygnets spotpriser eller enbart ta ut de mest signifikanta punkterna från datan måste ses över. Ju mer data HomiE skall bearbeta desto fler komplikationer kan uppstå samt en tung bakomliggande kod att hantera.



Figur 14, Partiell data av spotpriset per 28.03.2022 (Elbruk.se, n.d.-a).

Taget från ovanstående figur, kan vi avläsa viktiga punkter för spotpriset under en dag. Vi utgår från att med ett rörligt elavtal avses ett avtal som baserar sig på timbasis. Vi kan då avläsa ett aktuellt pris just denna timme, vilken timme elen kommer vara dyrast och när den

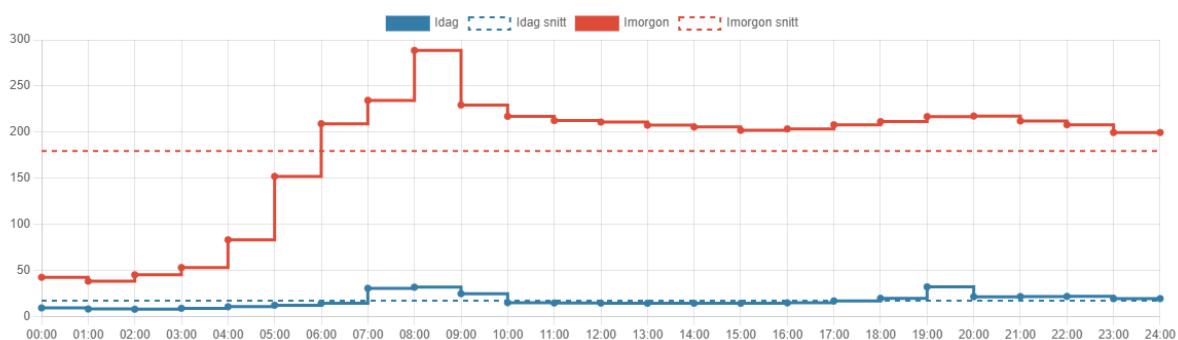
kommer vara billigast. Enbart med denna data kan en styrning bli svår, då vi inte vet vad elen kostar timmarna runt dessa timmar.



Figur 15, Data avläst med hjälp av Node-RED (Elbruk.se, n.d.-b).

Ovan ses ett exempel på inläst data vilken skulle kunna användas i beräkningen om när vi skall använda el. Till exempel för given data ovan skulle ett medelvärde på dessa kunna räknas ut för att sedan ge en styrsignal vilken berättar att så länge elpriset ligger under medelvärdet (16 öre/kWh i detta fall) så får elbilen laddas. Detta kan dock bli ett problem med så enkel logik, då elpriset kan se ut enligt följande:





Figur 16, Spotpris för 2 olika dagar i mars 2022.

Här kan man avläsa att medelpriset ligger under aktuellt pris hela dagen efter klockan 06.00 för morgondagen, vilket skulle innebära att ingenting skulle laddas efter klockan 06.00.

En bättre princip skulle vara att användaren får välja mellan vilka tidsintervall den vill t.ex ladda bilen, så kollar HomiE i det intervallet när elen är som billigast. HomiE måste också få information om hur länge en full laddning av bilen tar, då en laddning högst troligtvis tar längre än en timme och timmen efter att elen är som billigast kan den vara betydligt dyrare. Då kan HomiE ta ut billigaste timmen, näst billigaste timmen och så vidare för att sedan ladda de timmarna inom givna tidsintervallet.

### 5.4.3 Viktning AI-styrning

Hur dessa, AI-styrning via spotpris samt väderdata skall kombineras är en utmaning.

I huvudsak måste spotpris tas i beaktande för att bestämma när saker och ting skall utföras, t.ex laddning av elfordon. Hur och när väderdata skall användas är också något som antagligen måste testas och ställas in och är högst beroende på om man använder sig av batterilagring, men en vägledande princip skulle kunna vara att väderdata enbart används om batterilagring finns.

Styrsignalen skulle behöva bestämmas dagen före, då väderdata samt spotpriser för inkommande dag läses in. Om klart väder väntas så kan en approximation av egenproducerad el ske. Med denna approximation kan sedan HomiE avgöra om batteripack skall laddas upp fullt under natten med billiga priser, eller om en del av uppladdning skall ske inkommande dag då egen produktion av energi kan ske. Batteripacket skulle sedan användas för att ta bort toppar från konsumtionen, speciellt koncentrerat till dom tidpunkter då elen är som dyrast att köpa in. Laddning av elbil skulle helt styras via spotpris och överskott av energi. Om bilen är

inkopplad under dagtid och vi har överskott på energi så laddas bilen enbart med överskottsenergin. Hur mycket energi som kan laddas i bilen under dagtid varierar kraftigt och högst troligt kommer konsumenten inte vara hemma och kunna ladda under dessa tider, därför bör spotpriset användas för att se vilka timmar elen är billigast under den period konsumenten ställer in att bilen skall laddas. Se bilaga nr 1.

## **5.5 Tillväxt av elbilar på Åland**

Enligt statistik från FMA (Fordonsmyndigheten på Åland, n.d.) kan följande avläsas om antal eldrivna fordon på Åland:

2018

- Personbilar bensin/el : 31 st
- Personbilar el : 66 st
- Totalt antal elfordon : 97 st

2019

- Personbilar bensin/el : 66 st
- Personbilar el : 99 st
- Personbilar diesel/el : 1 st
- Totalt antal elfordon : 166 st

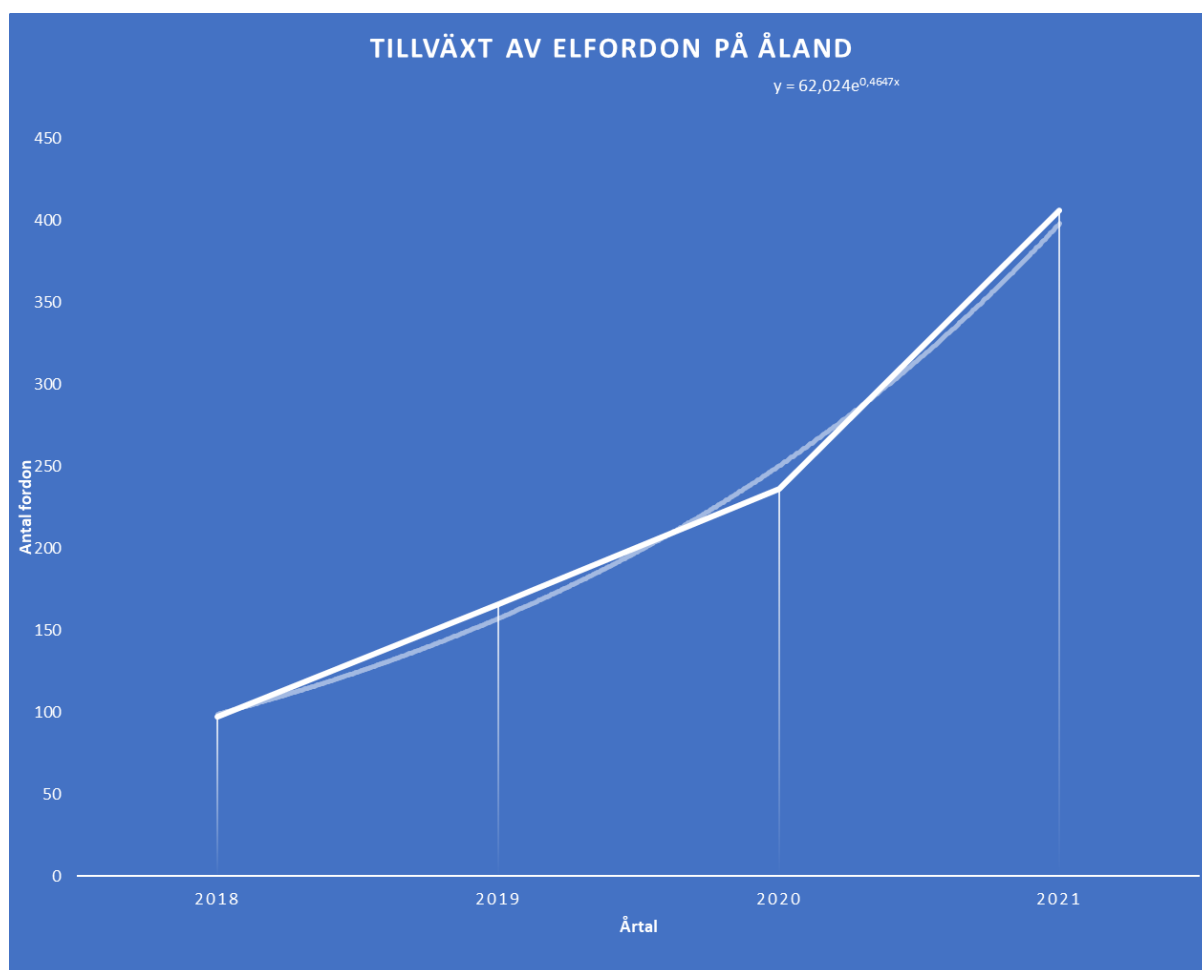
2020

- Personbilar bensin/el : 91 st
- Personbilar el : 144 st
- Personbilar diesel/el : 1 st
- Totalt antal elfordon : 236 st

2021

- Personbilar bensin/el : 110 st
- Personbilar el : 248 st
- Personbilar diesel/el : 1 st
- Buss/lastbil/paketbil bensin/el : 5 st
- Buss/lastbil/paketbil el : 42 st
- Totalt antal elfordon : 406 st

En illustration över denna data visas i figur 17.

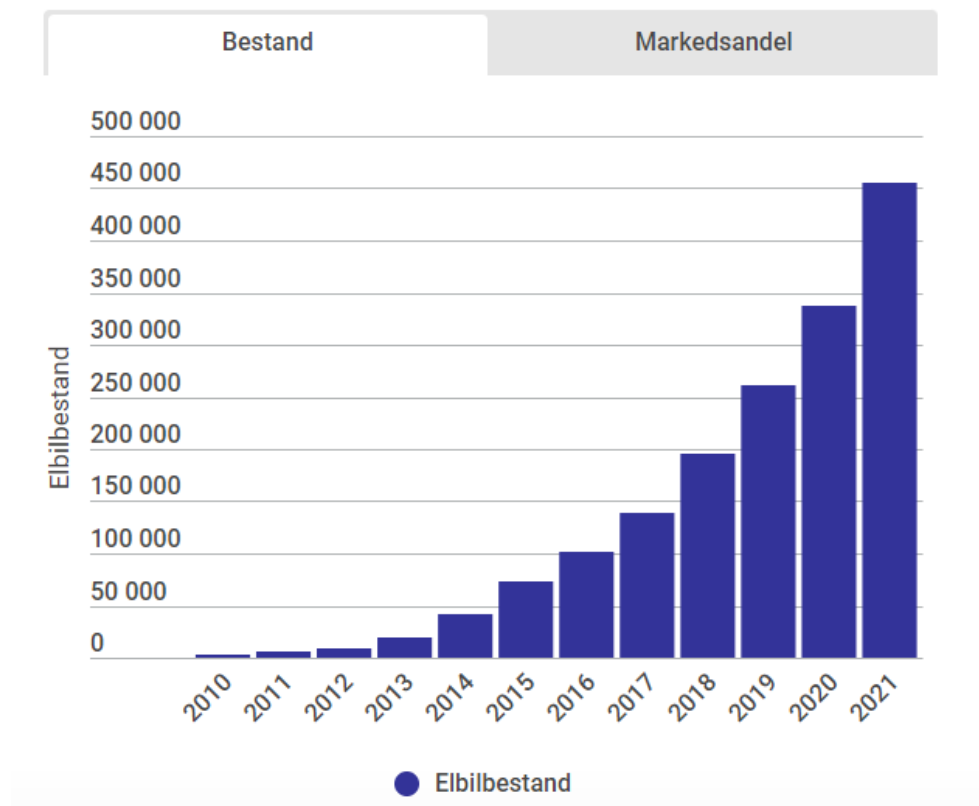


Figur 17, Ökning av elfordon på Åland.

Nuvarande tillväxt kan ses som exponentiell med formeln  $y = 62,024e^{0,4647x}$ , eller mera återhållsamt med en linjär tillväxt av 300 elfordon per 3 år, alltså 100 elfordon per år.

Denna kurva kan jämföras med t.ex tillväxten i Norge (figur 18) och i Sverige (figur 20).

# Elbilbestand og markedsandel



Figur 18, Tillväxt av elfordon i Norge 2010-2021 (Elbil No, 2016).

Vi tar inte hänsyn till de stora effekter som kommer gå åt när buss eller lastbil laddas, utan räknar på att hälften av befolkningen laddar med 1-fas laddare 16 A (maximal laddningseffekt = 3,7 kW) och andra hälften laddar med 3-fas laddare 16 A (maximal laddningseffekt = 11 kW), vilket ger en snitt laddningseffekt på 7,35 kW.

## 5.5.1 Scenario 1, linjär tillväxt enligt tabell för Åland

2032 har vi på Åland, med en tillväxt av 100 fordon per år, 1406 st elfordon. Majoriteten av dessa laddas sannolikt varje dag, sannolikheten att de laddas under samma tidpunkt är stor för många av fordonen. Detta innebär att bara elfordonen under laddning kan kräva en effekt av 10334 kW (10,33 MW) jämförbart med dagens fordonsmängd som uppskattningsvis kräver ca 2900-3000 kW (3 MW) under laddning då alla laddas samtidigt.

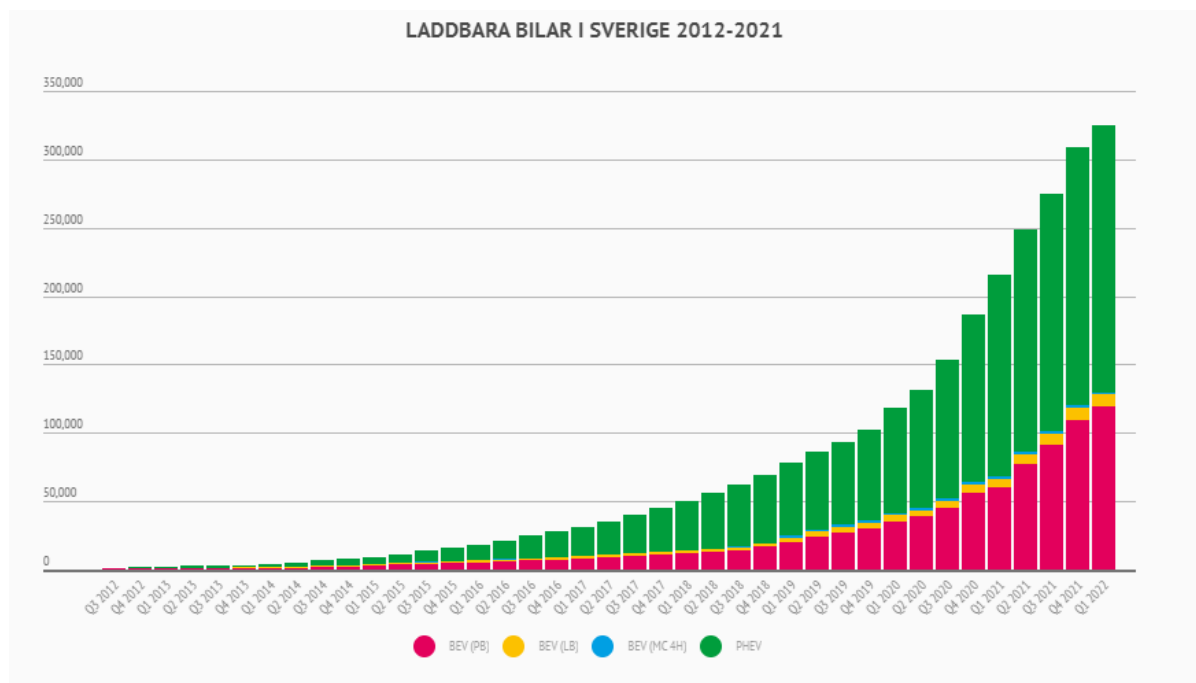
### 5.5.2 Scenario 2, exponentiell tillväxt enligt tabell för Åland

2032 har vi enligt formeln  $62,024e^{0,4647*14} = 41\,494$  elfordon, vilket skulle indikera på att i princip hela befolkningen har ett elfordon (flera fordon än invånare idag). Om alla dessa skulle under någon tidpunkt på dygnet laddas samtidigt skulle det krävas en effekt på 304 980 kW (ca 305 MW), vilket är 6 gånger större förbrukning än vad hela Åland normalt sett förbrukar under en timme på en normal eftermiddag.



Figur 19, Förbrukning för hela Åland per 04.03.2022 kl 10.00 (Kraftnät Åland, n.d.).

### 5.5.3 Scenario 3, exponentiell tillväxt enligt tabell Sverige (räknat per capita)



Figur 20, Tillväxt av elfordon i Sverige 2012-2021 (Elbilsstatistik, n.d.).



Figur 21, Omräknad tabell från Sverige där formel för tillväxt framgår för Åland (beräknat på att Åland har ca 30000 invånare jämfört med Sveriges ca 10 000 000 invånare).

Av denna graf kan vi läsa att vi nu skulle vara inne på år 9 (lite över 400 elfordon). Detta skulle innebära att år 2032 har vi enligt formeln

$$y = 1,98 * x^3 - 19,69 * x^2 + 72,3 * x - 56 =$$

$$1,98 * 19^3 - 19,69 * 19^2 + 72,3 * x - 56 = 7790 \text{ elfordon på Åland.}$$

Dessa skulle, om de alla laddas samtidigt, kräva en effekt på 57256 kW = 57 MW vilket motsvarar hela Ålands förbrukning under en normal eftermiddag.

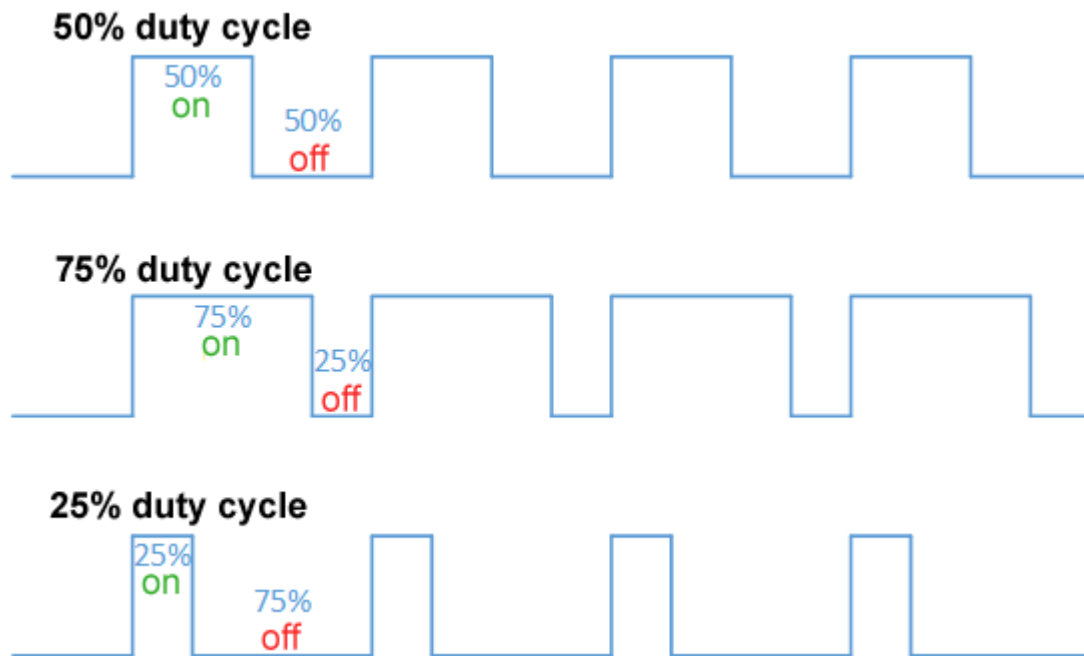
#### 5.5.4 Slutsats av tillväxt av elbilar

Med ovanstående data kan konstateras att mängden elenergi som kommer behöva transporteras inom Ålands elnät kommer öka markant och kan påverka elnätet. Detta kan medföra att elleverantören vill kunna styra förbrukningen på nätet på ett bättre sätt än idag, då de idag endast kan stänga ner hela områden för att motverka en överbelastning.

### 5.6 Styrning av hårdvara

Att reglera temperaturen i en varmvattenberedare hör till enklare reglering, då varmvattnet värms av resistiva element. Detta betyder att effekten kan regleras rakt av med spänning,

vilket redan görs idag av HomiE. Detta görs genom att pulsbreddsmodulera en signal till styrsidan på ett SSR-relä, vilket betyder att vi tändar och släcker en DC/AC-signal och kan på så vis ändra Duty cycle. Exempel på detta ses i figur 22.



Figur 22, Förklaring av Duty Cycle.

T.ex om vi vill köra värmeelementen i varmvattenberedaren på halv effekt, så skickar vi en pulsbreddsmodulerad signal med 50 % duty cycle till SSR-reläet, som i sin tur endast släpper igenom 50 % av effekten då RMS-spänningen på matarsidan halveras.

En batteriladdning kan också ske genom enklare reläreglering, alltså på eller avslagen. Detta görs genom att använda sig av ett standard relä/kontaktor som sluts med 24V DC på spolen, då kan reläet direkt anslutas till Raspberry PI och styrs med en TRUE eller FALSE på digital utgång. En risk med detta är dock att elektronik kan vara känslig för många på- och avslagningar, och rekommenderar därför närmare integration med invertertillverkare för att kunna reglera laddningen digitalt genom kodning.

### 5.6.1 Förbättring av reglering

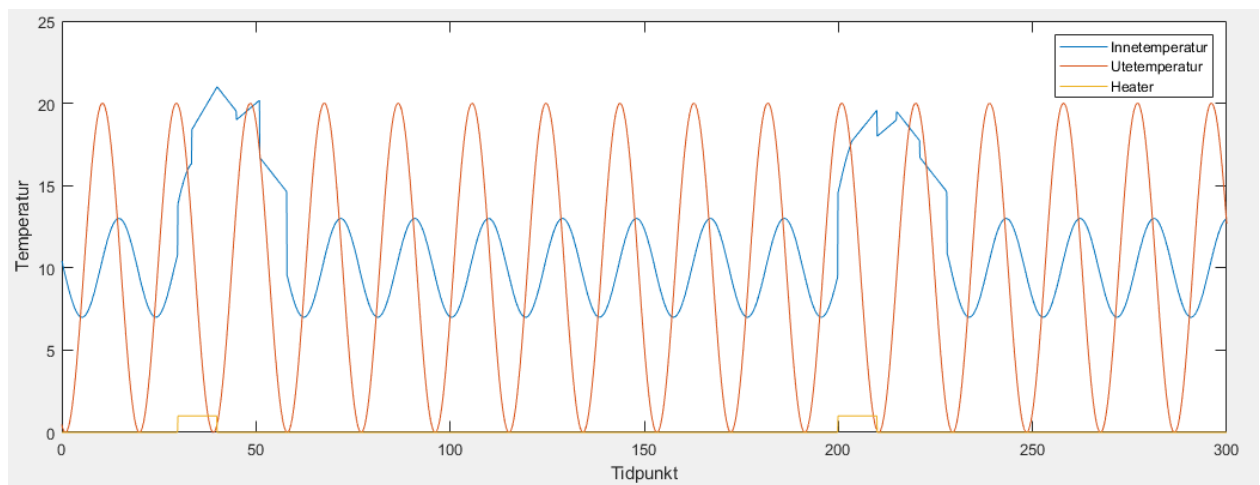
Reglertekniskt skulle en modell av ett standardhus kunna skapas genom mätningar för att sedan göra tester på. Mätningar bör ske under en längre period (helst en månad eller längre för att få med så stor variation som möjligt i både spotpris och temperaturer etc) och bör delas

upp i undersystem. Ett system som skulle vara viktigt att titta på är uppvärmningen, där följande signaler bör tas i beaktande :

- Styr signaler till varmvattenberedare.
- Styr signaler till värmesystem (luft-luft, bergvärme etc.).
- Innetemperatur.
- Utetemperatur.

Med denna mätdata kan sedan en modell skapas. Högst troligt är systemet inte linjärt och kan behöva linjäriseras kring en punkt, men med detta kan systemet bli svårt att simulera då det kan innebära helt fel utdata från systemet vid andra punkter än de som det linjäriserats kring.

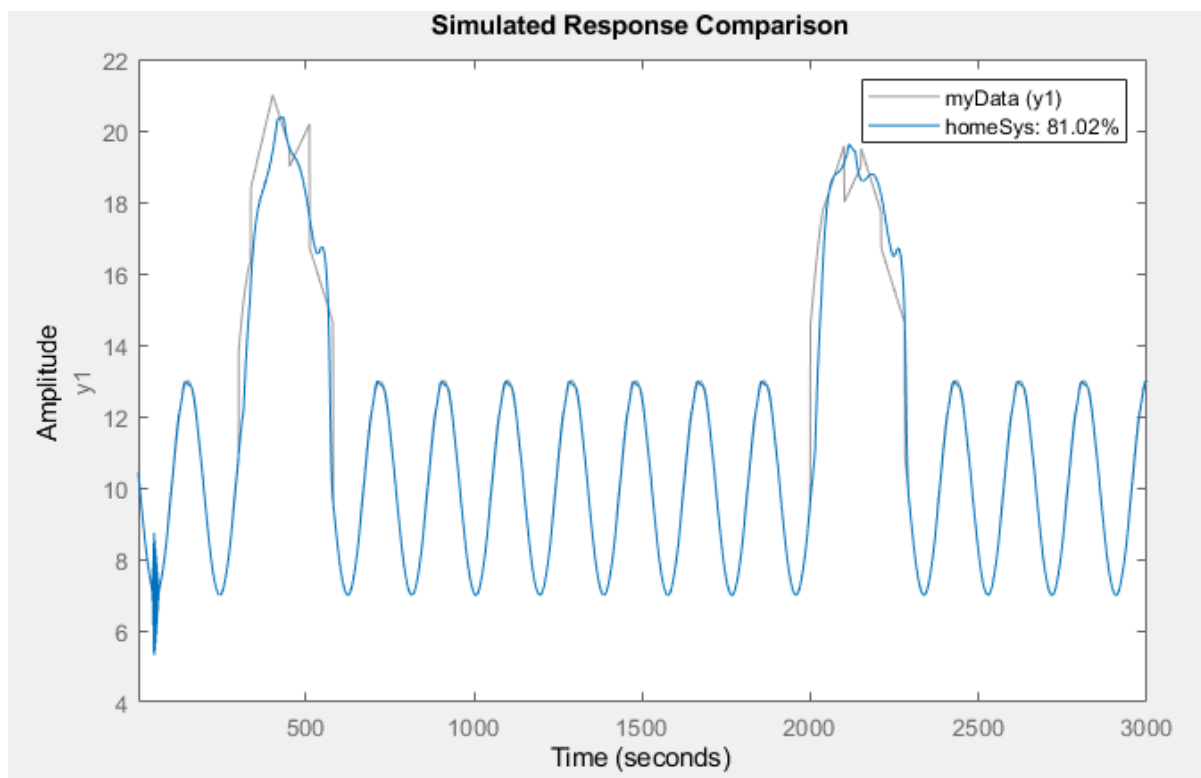
För att kunna skapa bra regulatorer och MPC för dessa system krävs mycket mätningar. För att visa problematiken återskapas i Matlab och Simulink ett simulerat hus enligt figur 23. Se kod i bilaga 2.



*Figur 23, Virtuellt hus där utetemperatur pendlar mellan 0-20 grader och innetemperatur fördröjd med simulerad isolation. Simulerad höjning av innetemperatur då värmare är på.*

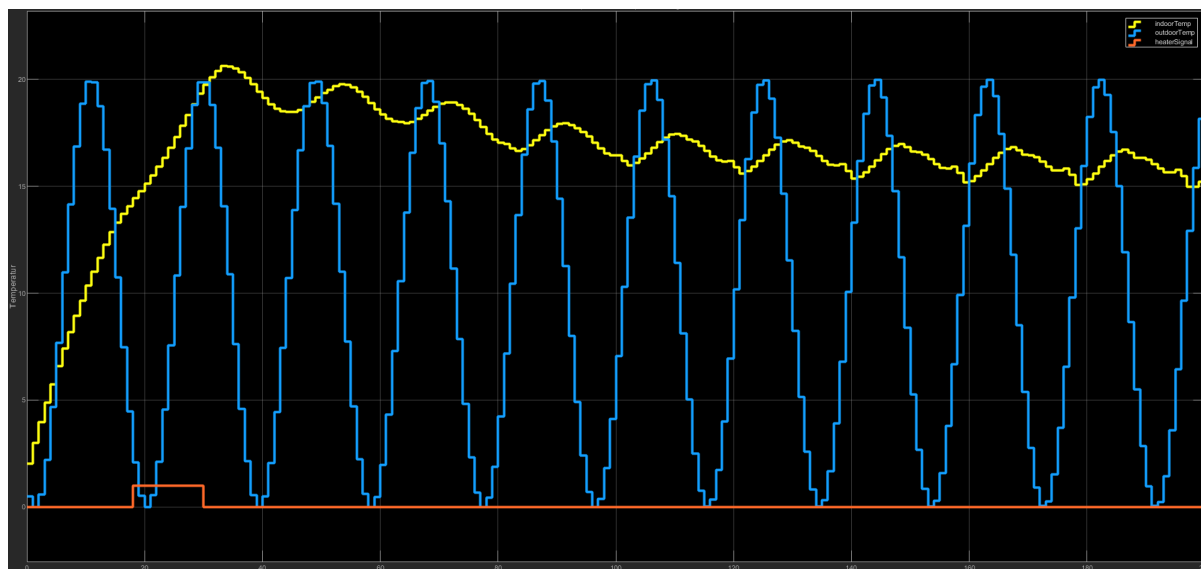
Men denna data kan en enkel modell av husets uppvärmning skapas med hjälp av Matlabs inbyggda kommando `nlrx(non-linear-arx)`, där träffsäkerheten blir förhållandevis hög, se figur 24.





Figur 24, Systemets träffsäkerhet jämfört med mätningar.

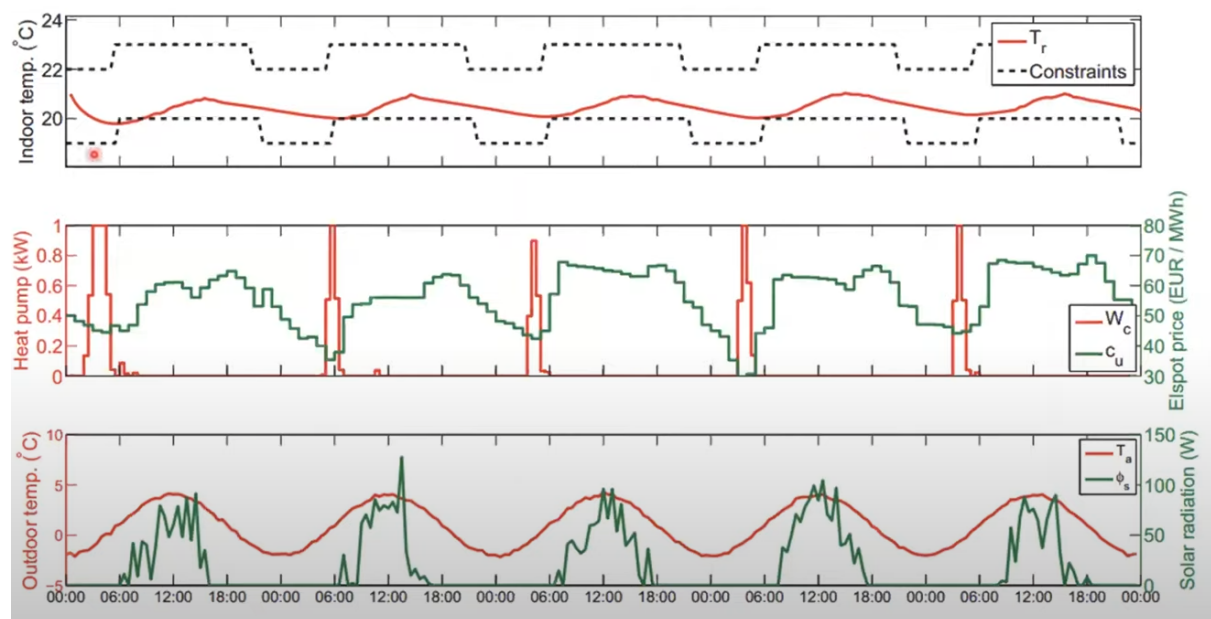
Det är dock svårt att uppskatta ett hus isolering och system. Med denna data fås en simulering enligt figur 25.



Figur 25, Simulering av enkel husmodell med pådrag av värmekälla.

Baserat på denna information konstateras att verkliga mätningar under längre tid måste ske för att kunna bygga upp ett system som återspeglar verkligheten bättre. I denna modell så håller sig temperaturen inomhus hög väldigt många dygn efter att värmaren slagit av.

Lyckas ett välfungerande system byggas upp, så kan MPC implementeras och då även få en väldigt bra reglering kring spotpriser (figur 26). I figuren kan vi avläsa satta börvärden för min- och maxtemperatur för inomhustemperatur, verklig inomhustemperatur, pådrag till värmekälla, spotpriser, utetemperatur samt solstrålning.



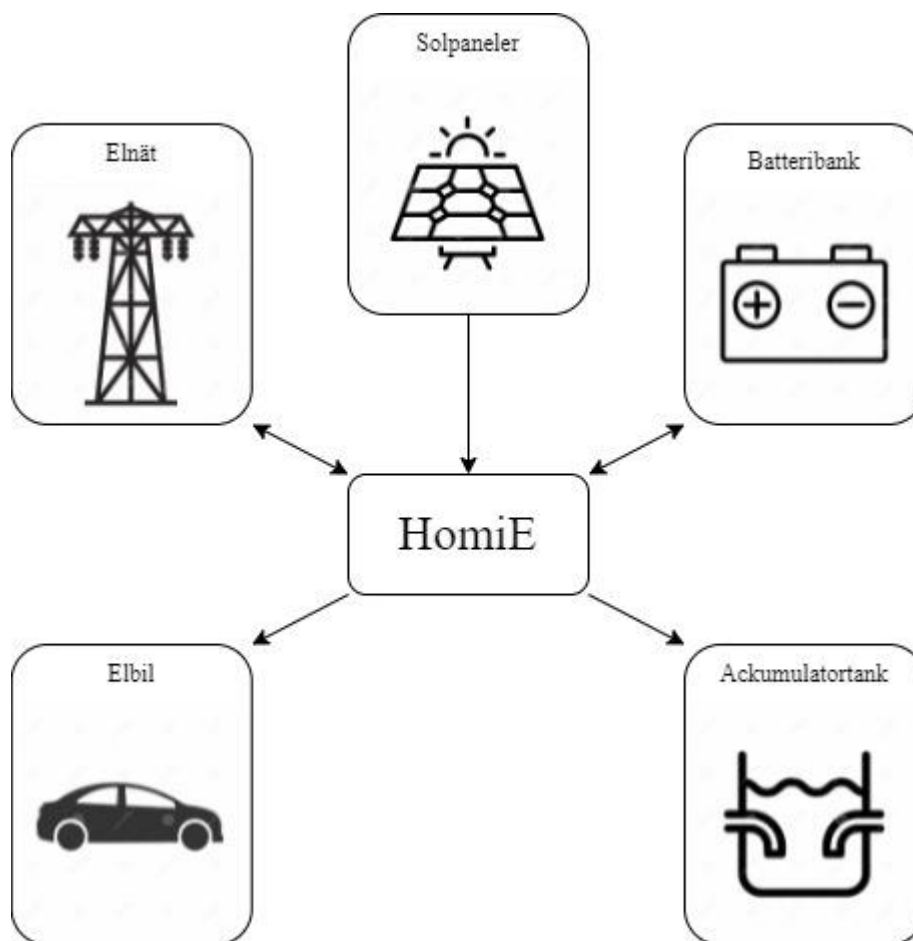
Figur 26, Mätningar efter implementering av MPC (Compute, 2020).

## 6. FÖRBÄTTRINGSFÖRSLAG

HomiE bör utvecklas med följande:

- Integration mot Nordpool för spotpris-styrning.
- *Demand Response*-funktion för att kunna dra ner effekt till varmvatten, elbil samt batteriladdning skall kunna användas av ÅEA mot en avgift.
- Integration med inverter så att lagring och uttag av effekt från batteri kan styras.
- Integration mot SMHI-API så att väderdata kan läsas av för analys av när uppladdning av batteri samt varmvatten ska ske.

En illustration över fysiska inkopplingar till HomiE ses i figur 27.



Figur 27, Framtida möjliga in- och utgångar till och från HomiE.

## 7. SLUTSATS

Sammanfattningsvis visar studien att störst inbesparing sker genom spotpris där man styr elförbrukningen gentemot spotpriset. Då licenskostnaden för spotpris är relativt hög krävs försäljning av enheter där en licenskostnad från kund tas ut. Enligt analysen i kapitel 5.3.1 kan en inbesparing ligga på 130-140 euro per år för en modern villa med spotprisreglering. Detta är räknat på att jämna ut toppar av elförbrukningen och elpriset under ett dygn med hjälp av batteri. På liknande sätt kan förbrukningen flyttas till tider där priset är lågt för samma resultat. Därför kan en licenskostnad från kund behöva ligga på 13-14 euro (ca 10 % av inbesparingen) per år.

I enlighet med analysen i kapitel 5.5 kommer laddning av elbilar leda till överbelastning av delar av elnätet. Därför måste *demand response* implementeras inom en överskådlig framtid för elleverantörerna på Åland om inte delar av nätet förnyas (vilket kostar mycket pengar). Denna signal behöver transporteras snabbt till enheter vilka drar ner på elförbrukningen hos kunden. För att detta ska bli intressant behöver det finnas en vinning för kunden. Någon typ av ersättning då man installerat de system som behövs i hemmet.

Analysen i kapitel 5.3.1 tyder på att det inte lönar sig att implementera batteri för energioptimering. Det finns små marginaler att hämta hem då man använder sig av batterilagringssystem för energioptimering. Då dessa marginaler är så pass små leder det till att batterilagringssystem främst bör användas vid off-grid- och reservkraftsanläggningar hos oss idag. Prisökningen av elenergi tillsammans med prissänkningen av batterier kan göra implementering av batteri för energioptimering lönsamt inom en snar framtid.

För bästa möjliga ekonomi bör HomiE användas tillsammans med solceller och spotprisreglering. HomiE passar hushåll som lagrar energi i ackumulatortank för värme och tappvatten och hushåll som använder sig av elbil. För framtida uppdateringar bör MPC ses över. En modell över uppvärmningen i hushållet bör göras med hjälp av mätningar. Modellen implementeras i MPC för styrning av värmekälla m.m. för vidareutveckling.

## 8. KÄLLFÖRTECKNING/REFERENCE LIST

- ÅEA. (2017, November 17). *Priser*. Ålands Elandelslag. <https://www.el.ax/kundtjanst/priser/>
- Ålands Elandelslag. (2016, November 24). Ålands Elandelslag. <https://www.el.ax/>
- Allwinds. (2018, April 11). *De åländska vindkraftverken* | . Allwinds.  
<https://www.allwinds.ax/de-alandska-vindkraftverken/>
- Batteriexperten. (n.d.). *Billiga batterier online - Köp batteri hos Batteriexperten*. Retrieved April 5, 2022, from  
[https://www.batteriexperten.com/sv/?gclid=CjwKCAjwrqqSBhBbEiwAlQeqGiDbY6rE4zeiurn62K6FOHhGb4exVJymVb5Oo55w24\\_FTAL0\\_BBouhoCco4QAvD\\_BwE](https://www.batteriexperten.com/sv/?gclid=CjwKCAjwrqqSBhBbEiwAlQeqGiDbY6rE4zeiurn62K6FOHhGb4exVJymVb5Oo55w24_FTAL0_BBouhoCco4QAvD_BwE)
- Compute, D. T. U. (2020, December 21). *Model predictive control for smart energy systems*,  
*Professor John Bagterp Jørgensen*. Youtube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=hCwOUGggyvw>
- Kraftnät Åland. (n.d.). *Kraftnät Åland AB*. Retrieved March 22, 2022, from  
<http://www.kraftnat.aland.fi/>
- Elbil No. (2016, April 11). *Statistikk elbil*. Norsk elbilforening. <https://elbil.no/om-elbil/elbilstatistikk/>
- Elbilsstatistik. (n.d.). *Elbilsstatistik*. Elbilsstatistik. Retrieved April 13, 2022, from  
<https://www.elbilsstatistik.se/>
- Elbruk.se. (n.d.-a). *Dagens spotpris på el*. Elbruk.se. Retrieved April 19, 2022, from  
<https://www.elbruk.se/>
- Elbruk.se. (n.d.-b). *Spotpriser på el för området SE3 - Stockholm*. Elbruk.se. Retrieved April 13, 2022, from <https://www.elbruk.se/timpriser-se3-stockholm>
- Energimyndigheten. (n.d.). *energistatistik-for-smahus-2016.pdf*.  
<https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/bostader/energistatistik-for-smahus-2016.pdf>
- Europe-Solarstore. (n.d.-a). *SolarEdge Energy Bank 10kWh Battery*. Retrieved April 6, 2022, from

<https://www.europe-solarstore.com/solaredge-energy-bank-10kwh-battery.html>

Europe-Solarstore. (n.d.-b). *Tesla Powerwall*. Retrieved April 6, 2022, from

<https://www.europe-solarstore.com/tesla-powerwall.html>

Fordonsmyndigheten på Åland. (n.d.). *Fordonsstatistik*. Retrieved March 22, 2022, from

<https://www.fma.ax/fordon/fordonsstatistik>

Global World Logistic, Eu, H. G., & Jiri, I. A. (n.d.). *[No title]*. Retrieved April 3, 2022, from

<https://shop.gwl.eu/blog/LiFePO4/The-Cycle-life-of-Winston-Batttery-cells-versus-lead-acid.htm>

1

Instalco AB. (n.d.). *System för energioptimering i bostäder*. Retrieved March 22, 2022, from

<https://instalco.se/nyheter/system-foer-energiptimering-i-bostaeder>

Kraftnät-Åland. (n.d.). *Kraftnät Åland*. Retrieved March 22, 2022, from <http://www.kraftnat.aland.fi/>

Mariehamns-Energi. (n.d.). *Startsida*. Retrieved March 22, 2022, from <https://www.energi.ax/>

NordicHeating. (n.d.). *Om värme och energi*. Retrieved March 22, 2022, from

<http://www.nordicheating.se/information/allmaen-information/om-vaerme-och-energi.aspx>

NordPool. (n.d.). *See what Nord Pool can offer you*. Retrieved March 22, 2022, from

<https://www.nordpoolgroup.com/>

OpenEnergyMonitor. (n.d.). *OpenEnergyMonitor*. Retrieved March 22, 2022, from

<https://openenergymonitor.org/>

SMHI. (n.d.-a). *SMHI Open Data API Docs - Meteorological Forecasts*. Retrieved April 19, 2022,

from <https://opendata.smhi.se/apidocs/metfcst/parameters.html>

SMHI. (n.d.-b). *SMHI - Verifikationstjänst*. Retrieved April 19, 2022, from

<https://www.smhi.se/data/meteorologi/prognosuppfoljning>

SMHI. (n.d.-c). *SMHI\_vov\_precipitation\_sunshine\_21.pdf*.

[https://www.smhi.se/pd/klimat/pdf\\_stats/year/SMHI\\_vov\\_precipitation\\_sunshine\\_21.pdf](https://www.smhi.se/pd/klimat/pdf_stats/year/SMHI_vov_precipitation_sunshine_21.pdf)

*SMHI API*. (n.d.).

<https://opendata-download-metfcst.smhi.se/api/category/pmp3g/version/2/geotype/point/lon/20.0>

59/lat/60.0294/data.json

*Solceller*. (n.d.). Retrieved March 22, 2022, from

<https://www.eon.se/solceller/varfor-solceller/verkningsgrad-solceller>

Spotpriset.se. (n.d.). *Spotpriset*. Retrieved March 22, 2022, from <https://spotpriset.se/>

Thalman, E. (2015, January 23). *What German households pay for power*. Clean Energy Wire.

<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/what-german-households-pay-power>

Tibber. (n.d.). *Forget everything you know about energy companies Tibber*. Retrieved March 25, 2022,

from <https://tibber.com/en>

Vattenfall. (n.d.). *Historik över elpriserna på elbörsen - Vattenfall*. Retrieved April 19, 2022, from

<https://www.vattenfall.se/elavtal/elpriser/rorligt-elpris/prishistorik/>

Wikipedia contributors. (2022a, February 26). *Lithium polymer battery*. Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium\\_polymer\\_battery&oldid=1074159661](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium_polymer_battery&oldid=1074159661)

Wikipedia contributors. (2022b, March 14). *Lead–acid battery*. Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lead%E2%80%93acid\\_battery&oldid=1076998925](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lead%E2%80%93acid_battery&oldid=1076998925)

Wikipedia contributors. (2022c, March 16). *Lithium iron phosphate battery*. Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium\\_iron\\_phosphate\\_battery&oldid=1077530124](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium_iron_phosphate_battery&oldid=1077530124)

Wikipedia contributors. (2022d, March 17). *Lithium-ion battery*. Wikipedia, The Free Encyclopedia.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium-ion\\_battery&oldid=1077612499](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium-ion_battery&oldid=1077612499)

Wikipedia contributors. (2022e, April 1). *Tesla Model 3*. Wikipedia, The Free Encyclopedia.

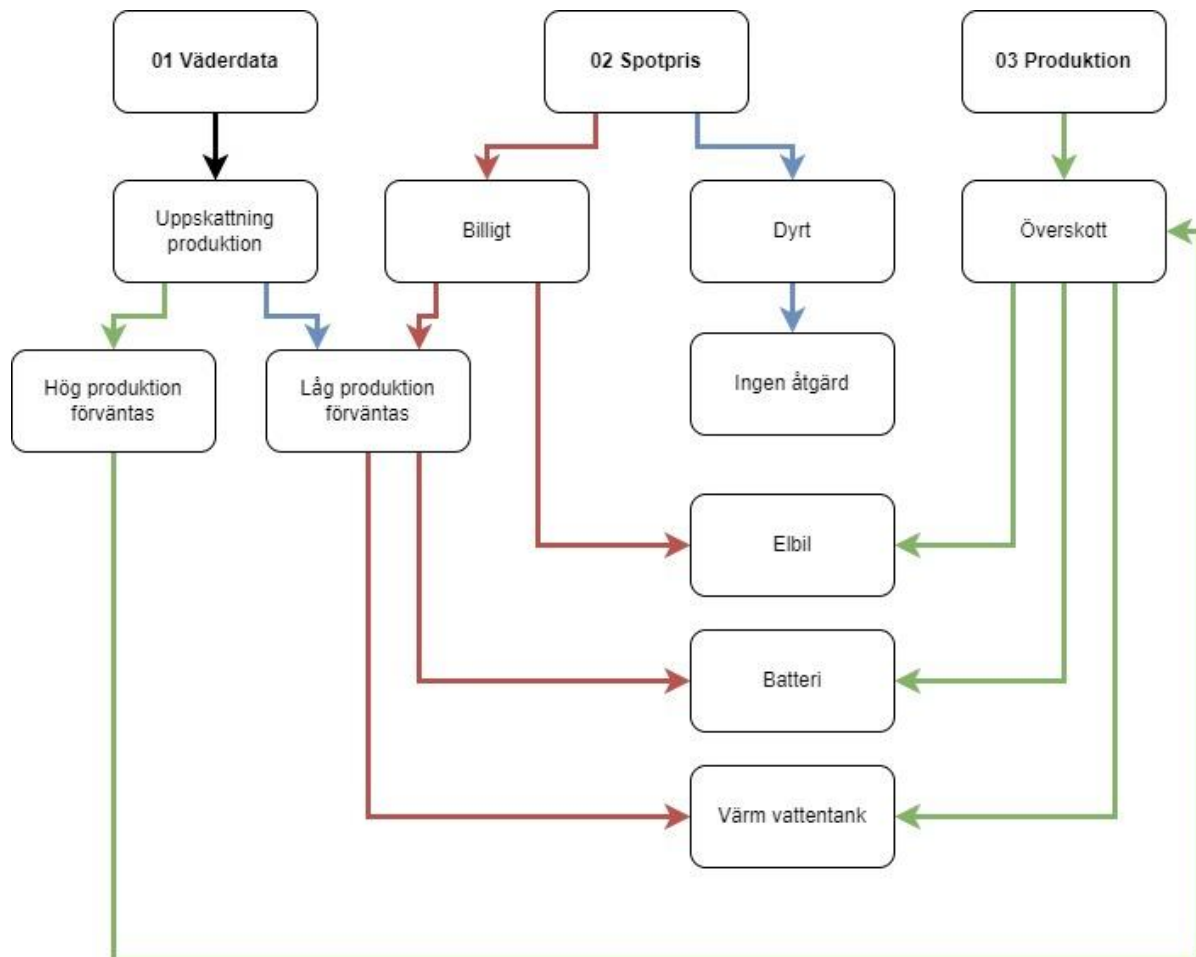
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Tesla\\_Model\\_3&oldid=1080429030](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Tesla_Model_3&oldid=1080429030)

Zwerfcat. (n.d.). *Lithium-Hybrid*. ZwerfCat. Retrieved April 3, 2022, from

<https://www.zwerfcat.nl/en/lithium-hybrid.html>

## 9. BILAGOR/APPENDICES

### Bilaga 1, flödesschema



#### 01 Väderdata :

- Väderdata uppskattar produktionen för inkommande dag. Vid förväntad hög produktion laddas inte batteri och varmvatten värms inte upp då dessa förväntas laddas av egenproducerad energi inkommande dygn. Vid förväntad låg produktion så laddas batteri och varmvatten värms under de timmar som näten energin är billig.

#### 02 Spotpris :

- Timmar för inkommande dygn analyseras och billiga timmar sorteras ut. Ett sätt är att kolla när elpriset är under medelpriset för en viss period under dygnet. Om låg



produktion av egen energi förväntas används elen när den är billig till att värma varmvatten samt ladda batteri.

- När elen är billig i inställd period av användare, så laddas elbil.

### 03 Produktion :

- Om överskottsenergi finns så laddas elbil och batteri samt varmvatten värms upp.

## Bilaga 2, kod för Matlab simulering

```
%% Non-linear ARX-modell av fiktiv uppvärmning
```

```
clear
```

```
clc
```

```
t = 0:0.1:300;
```

```
outdoorTemp = 10*sin(0.33*t+4.4)+10;
```

```
indoorTemp = 3*sin(0.33*t+3)+10;
```

```
spotPrice = 20*sin(0.33*t+3)+50;
```

```
heaterSignal = zeros(1,length(t));
```

```
heaterSignal(300:400) = 1;
```

```
indoorTemp(300:400) = indoorTemp(300:400)+(t(300:400)/10);
```

```
indoorTemp(336:400) = 0.4*t(336:400)+5;
```

```
indoorTemp(401:450) = -0.3*t(401:450)+33;
```

```
indoorTemp(451:510) = +0.2*t(451:510)+10;
```

```
indoorTemp(511:580) = -0.3*t(511:580)+32;
```

```
heaterSignal(2000:2100) = 1;
```

```
indoorTemp(2000:2100) = indoorTemp(2000:2100)+(t(2000:2100)/40);
```

```
indoorTemp(2036:2100) = 0.3*t(2036:2100)-39;
```

```
indoorTemp(2101:2235) = -0.3*t(2101:2235)+87;
```

```
figure(1)
```

```
plot(t,indoorTemp,t,outdoorTemp,t,heaterSignal)
```

```
legend('Innetemperatur','Utetemperatur','Heater')
```

```
u = [outdoorTemp' heaterSignal'];
```

```
y = [indoorTemp'];
```

```
myData = iddata(y,u,1);  
NN = [1*ones(1,1), 1*ones(1,2), 5*ones(1,2)]; % the orders  
sys = nlarx(myData,NN);  
  
homeSys = idnlarx(sys);  
  
figure(2)  
compare(myData,homeSys)
```

## Bilaga 3, intervju med ÅEA 17.11.2021

1. Enligt ACS är Demand Response något ni vill få in på marknaden. Innebär detta endast en vinning för er (slippa toppar och hålla bättre kvalitet) eller får även kunden ut något av detta?

Svar: Demand Response är något som måste in på marknaden på lång sikt. Nätet är inte dimensionerat för att 15000-20000 elbilar ska laddas samtidigt.

I t.ex. Sverige finns det aggregatörer vilka sluter avtal med kunder. Kunder drar ner på förbrukningen på begäran från aggregatorn. För detta får aggregatorn betalt från SVK (Svenska Kraftnät). En del av summan får i sin tur kunden. På så vis vinner alla något. I dagsläge får inte ÅEA vara aggregator mot svenska marknaden.

2. Vad betalar ni mikroproducenter vilka säljer el till er?

Svar: Vi kommer gå över till spotpris även för inköpt el från mikroproducenter.

3. Skapar el från mikroproducenter störningar på ert nät?

Svar: I vårt nät har inga störningar uppstått än. De kan troligtvis uppstå då mikroproducenterna blir fler. Dessa störningar kan t.ex vara överspänningar på nätet. Vi är förberedda på att de kan uppstå.

4. Kan ni i dagsläge erbjuda spotpriser?

Svar: Ja.

5. Hur kommunicerar ni med era elmätare?

Svar: De kommunicerar med ett mesh-nät på radiofrekvens.  
Det finns ett 230 V:s relä vilket kan aktiveras på mätaren från oss (via mesh-nätet).

Övriga diskussioner under intervjun:

- David Karlsson rekommenderar oss att titta närmare på Tibber. Tibber är ett svenskt energibolag vilket utvecklar en liknande tjänst som HomiE.
- En bråkdel av ÅEA:s kunder använder sig av spotpris då fasta avgiften är så pass låg.
- ÅEA följer SE3 Stockholm gällande spotpriser.

- Största delen inköpt el kommer från Sverige (över 95 %). Vid fel på svenska nätet tas el från Finland. Yttre östra skärgården får normalt sin el från Finland endast.
- Sättet för ÅEA att fakturera el på kan ändra. Idag faktureras el på basen av kWh men kan ändras till t.ex på basen av effektförbrukningstopp per timme, dygn eller månad (finns många olika sätt). I detta exempel vill man inte förbruka mycket el samtidigt utan istället sprida ut energiförbrukningen för att få god ekonomi.
- ÅEA får enligt lag koppla bort delar av nätet om de ser att en överbelastning håller på att ske. Normalt sett om det sker (sker väldigt sällan) görs roterande bortkoppling. Det innebär att man kopplar bort en sektion av nätet (45/10 kV:s-transformatorer) åt gången. På så sätt har alla kunder tillgång till el under en viss period.
- Då mikroproducenter ökar förlorar ÅEA volymer vilket kan resultera i högre avgifter.
- API mot laddbox är svårt då det finns olika tillverkare vilka använder sig av olika protokoll.
- Att ta signal för Demand Response från elmätare till HomiE är ett dåligt alternativ. Signalen skulle ha för hög latens vilket skulle göra frekvensstyrning svårt.

## Bilaga 4, mailintervju med Kraftnät Åland

1. Hur påverkas ni av en överbelastning?

Svar: Förbindelserna har överströmsskydd vilket resulterar i att vid en överbelastning kopplas förbindelser bort och det blir strömavbrott på stora områden. Det kan vara svårt och tidskrävande att starta upp områden vilka kopplats bort om man har hög belastning i hela stamnätet.

2. Är ni oroliga för nätets dimensionering med tanke på den ökande elförbrukningen.

Svar: Nej. Stamnätet på Åland är överdimensionerat. Det som kan hända är att Sverigekabeln inte räcker till och behöver förnyas inom 10-20 år.

3. Vad tror ni höjningen av den totala elförbrukningen beror på?

Svar: Befolkningen ökar. Fler invånare förbrukar el och fler bostäder värms upp med värmepumpar vilka drivs med el samt att elbilar blir allt vanligare.

4. Skulle implementering av Demand Response ligga i ert intresse?

Svar: Demand Response i någon form vore intressant för Åland. Svårigheten är att hitta någon ekonomi i att bygga de system som behövs.

5. Är ni med i upphandlingen av elenergi från Sverige/Finland?

Svar: Kraftnät Åland sköter endast stamnätet och bedriver inte elhandel. De företag som importerar el är ÅEA, Mariehamns Energi och Allwinds.