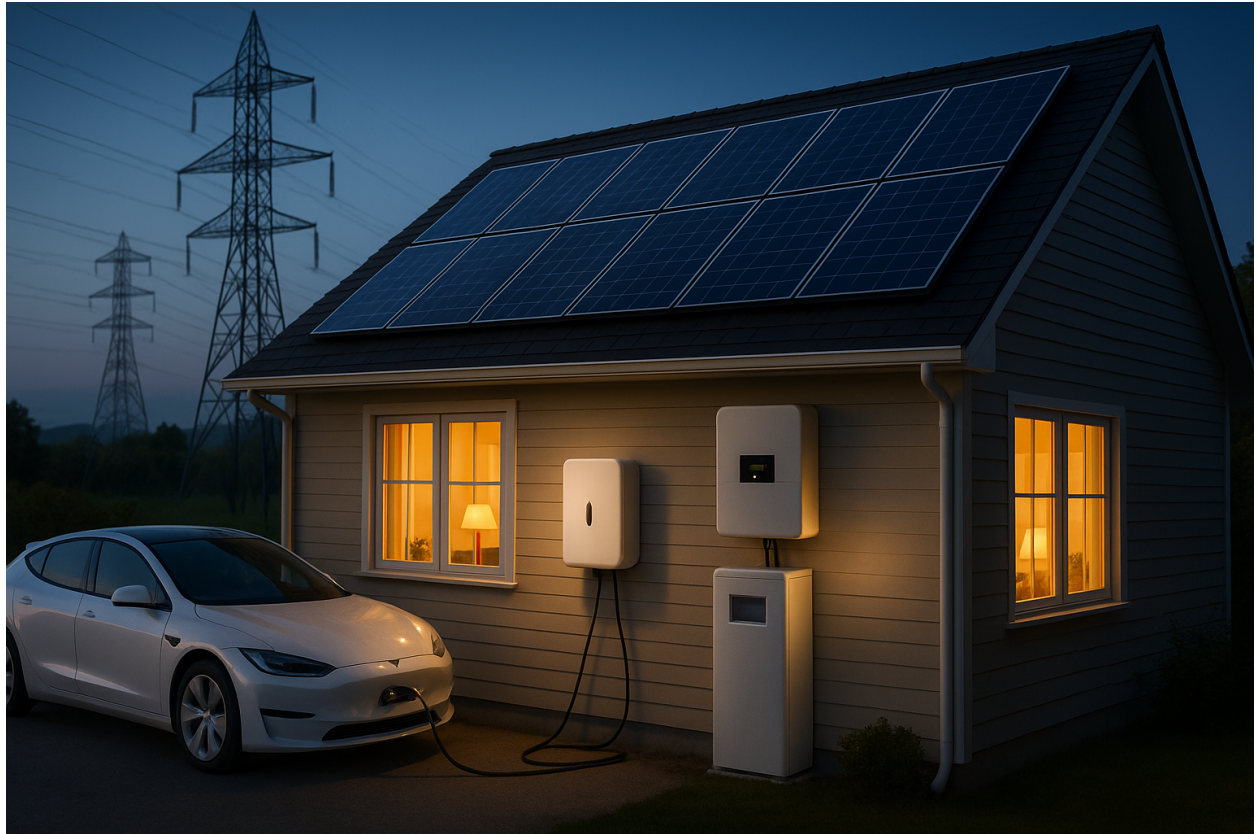




CHALMERS



Smart styrning av elförbrukning i ett hushåll

Optimering med V2X och effekttariffer

Kandidatarbete inom Elektroteknik

Institutionen för elektroteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2025
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2025

Smart styrning av elförbrukning i ett husåll

Optimering med V2X och effekttariffer

Jacob Flisberg
Isak Lindholm
Gabriella Bengtsson
Oscar Jägryd
Max Smoler
Martin Svenningsen



CHALMERS

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Smart styrning av elförbrukning

Optimering med V2X och effekttariffer

JACOB FLISBERG, ISAK LINDHOLM, GABRIELLA BENGTSSON, OSCAR
JÄGRYD, MAX SMOLER, MARTIN SVENNINGSEN

© JACOB FLISBERG, ISAK LINDHOLM, GABRIELLA BENGTSSON, OSCAR
JÄGRYD, MAX SMOLER, MARTIN SVENNINGSEN, 2025.

Handledare: David Steen, Elektroteknik

Examinator: Jimmy Ehnberg, Elektroteknik

Examensarbete 2025

Institutionen för Elektroteknik

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Hushåll med solpaneler och batteri. (Skapad med ChatGPT från prompt
“picture of a decentralized house with grid, battery, inverter and solarpanels, 2025”).”

Skriven i L^AT_EX

Göteborg, Sverige 2025

Sammanfattning

Detta projekt har med hänsyn till det globala läget med ökad komplexitet av elnätet och mängden elproducenter i form av solpaneler, försökt bidra till att hjälpa konsumenter optimera sin elförbrukning. Detta har utförts med utgångspunkt i ett befintligt öppen-källkod optimeringsprogram vid namn EMHASS, utvecklat för det populära smart home programmet Home Assistant. Syftet med projektet har varit att vidareutveckla och anpassa EMHASS för Sverige och framtidsförsäkra programmet genom att utveckla funktioner för optimering av V2X laddning, samt implementering av en ny optimeringsmodell anpassad för de nya effekttariffs abonnemangen som införs. Resultaten för projektet tyder på att utvecklingen har varit framgångsrik, och att de satta målen uppnåddes. Detta då EMHASS nu kompletterats med de önskvärda funktionerna i form av V2X optimering och en ny optimeringsmodell som tar hänsyn till effekttariffer. Då programmet och de tillägg som gjorts under projektet är fullt modulär, är framgångarna av det här projektet en stabil grund för användare att utveckla vidare på, och även fast de utvecklade funktionerna för tillfället har brister är de fullt dugliga att utgå från vid styrning av sin elförbrukning.

Nyckelord: EMHASS, Home Assistant, V2X, effekttariffer.

Abstract

This project, in light of the global situation with increasing complexity of the electricity grid, and the growing number of electricity producers in the form of solar panels, has aimed to help consumers optimize their power consumption. This was carried out using an existing open-source optimization program called EMHASS, developed for the popular smart home platform Home Assistant. The purpose of the project has been to further develop and adapt EMHASS for Sweden, and to future-proof the program by developing features for V2X charging optimization, and implementing a new optimization model tailored to the new power tariff subscriptions being introduced. The results of the project indicate that the development has been successful, and that the set goals were achieved. EMHASS has now been complemented with the desired features in the form of V2X optimization, and a new optimization model that takes power tariffs into account. Since the program and the additions made during the project are fully modular, the successes of this project provide a solid foundation for further development by users, and even though the developed functions currently have some shortcomings, they are fully adequate as a starting point for managing a households power consumption.

Keywords: EMHASS, Home Assistant, V2X, power tariff.

Förord

Vi vill tacka vår handledare David Steen för hans värdefulla hjälp under arbetets gång med särskilt organisering och struktur av projektet. Orust Engineering vill vi även tacka för deras hjälp med de tekniska delarna av arbetet samt att vi fick lov att använda deras anläggningar för att utföra våra tester på. Sist vill vi tacka Chalmers Tekniska Högskola för att dom har givit oss den här möjligheten att få testa på att utföra ett storskaligt projekt. Det har varit otroligt lärorikt och något vi kommer minnas och ta med oss långt in i framtiden.

Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 13 Maj 2025

Förkortningar

Nedan följer en alfabetisk lista över de förkortningar som har använts genomgående i detta examensarbete:

EMHASS	Energy Management for Home Assistant
Ei	Energimarknadsinspektionen
FCR	Frequency Containment Reserve
HA	Home Assistant
SOC	State of Charge
V2G	Vehicle to Grid
V2H	Vehicle to Home
V2X	Vehicle to Anything

Nomenklatur

Nedan följer en förteckning över index och variabler som har använts genomgående i detta examensarbete.

Index

i Indexering för timmar över perioden

Variabler

P_{PV} Effekt producerat i solpaneler [kW]
 P_{load} Elförbrukningen i hushållet [kW]
 P_{grid} Effekt till och från elnätet [kW]
 P_{sto} Effekt till och från batteriet [kW]
 $V2X_{P_{sto}}$ Effekt till och från V2X-instansen [kW]
 $unit_{SellPrice}$ Exportpriset för el till elnätet [SEK/kWh]
 $unit_{LoadCost}$ Importpriset för el från elnätet [SEK/kWh]
 P_{exp} Effekt till elnätet [kW]
 P_{imp} Effekt från elnätet [kW]
 Δt_{opt} Antal timmar framåt som optimeras [h]
 $vikt$ Vikt för att uppmuntra självkonsumtion [a.u]
 C_{topp} Elnätets tariffkostnad för effekttoppar [SEK/kW]
 C_{fast} Elnätets fasta månadskostnad [SEK/månad]
 C_{imp} Den totala importkostnaden i tarifflösningen [SEK]
 C_{spot} Nord Pools spotpriser [SEK]
 $C_{överföring}$ Elnätets överföringskostnad [SEK]
 C_{skatt} Energiskatten exklusive moms [SEK]
 P_{topp} Högsta effekten under dagen [kW]

N_{dagar}	Antalet dagar under månaden [a.u]
SOC_{max}	Högsta tillåtna laddning för elbilsbatteriet [%]
$SOC_{00:00}$	Elbilsbatteriets laddning vid slutet på tidsintervallet för optimeringen [%]
$C_{\text{imp},00:00}$	Importpriset vid slutet på tidsintervallet för optimeringen [SEK]
$E_{\text{kapacitet}}$	Nominell lagringskapacitet av elbilsbatteriet. [kWh]

Innehåll

Akronymer	viii
Nomenklatur	ix
Figurer	xiii
Tabeller	xv
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Mål	3
1.4 Avgränsningar	3
2 Teknisk Bakgrund	5
2.1 Elkostnadens komponenter	5
2.1.1 Elhandelsavtal	7
2.1.2 Elnätsavtal	7
2.1.3 Effektariffer	8
2.2 Resurser i decentraliserade hushåll	9
2.2.1 Solceller och batterilagring	9
2.2.2 Flyttbara laster	10
2.2.3 Elbil och V2X	11
2.2.4 Växelomriktare med solceller i ett mikronät	12
2.3 Smarta System - Home Assistant	13
2.4 EMHASS uppbyggnad och funktion	13
2.4.1 Uppbyggnad av EMHASS	13
2.4.2 Prognosers funktion	15
2.4.3 Optimeringens funktion med linjärprogrammering	16
2.5 Tillägg och kodpaket i GitHub och Docker	17
3 Metod	18
3.1 Planering av arbetsprocess	18
3.2 Installationer	19
3.2.1 Home Assistant	19
3.2.2 Tillägget EMHASS	19
3.3 Konfigurationer i Home Assistant	20

3.3.1	Sensorer och Data generering	20
3.3.2	Elpriser	22
3.4	EMHASS utveckling	23
3.4.1	Testmiljö	23
3.4.2	Implementering av effekttariffer	23
3.4.3	Implementering av V2X	24
3.4.4	Kontroll av implementeringar	24
3.5	Optimering för olika Fall	24
3.6	Implementering i hushåll och styrning av enheter	27
4	Resultat	28
4.1	Generell förklaring av figurer och grafer	28
4.2	Kontroll av tariff- och V2X-implementering	29
4.3	Fall 1 - Ingen optimering	29
4.4	Fall 2 - <i>Vinst</i>	30
4.5	Fall 3 - <i>Kostnad</i>	31
4.6	Fall 4 - <i>Självkonsumtion</i>	32
4.7	Fall 5 - <i>Effektoppar</i>	33
4.8	Kostnadsöversikt	34
4.9	Implementering i hushåll	34
5	Diskussion	35
5.1	Analys av fallens resultat	35
5.1.1	Analys av kontrollfallet	35
5.1.2	Jämförelse av samtliga Fall	35
5.1.3	Diskussion utifrån tidigare studier	36
5.2	Implementering i Hushåll	36
5.3	Förbättringsmöjligheter	37
5.3.1	Frekvensreglering	37
5.3.2	V2X	38
5.3.3	Effekttariffer	38
6	Slutsats	40
	Bibliografi	41
A	Kompletterande figurer	I
B	Rådata	II

Figurer

2.1	Hur elkostnader ser ut för eluppvärmd villa, värden tagna från [18].	6
2.2	Övergripande bild över Sveriges elområden. (Skapad med ChatGPT från prompt ”skapa en bild för sveriges elområden”, 2025)	6
2.3	Daglig högsta effekt under en månad för ett hushåll (Skapad med ChatGPT från OpenAI från prompt ”Skapa en graf över dagliga effekttoppar för ett hushåll”, 2025).	8
2.4	Avbild av komponenter som finns i ett decentraliserat hem. (Skapad med ChatGPT från prompt ”Ge mig en bild som representerar ett hus med solceller, omvandlare, batteri, V2G, elnätet, laster och integrerat med EMHASS i home assistant”, 2025).	9
2.5	Hushåll med energikomponenter som solceller, belysning, luftkonditionering, varmvattenberedare, kylskåp, batterilagring och elbil. (Skapad med ChatGPT från prompt ”Hushåll med energikomponenter som solceller, belysning, luftkonditionering, varmvattenberedare, kylskåp, batterilagring och elbil”, 2025).	11
2.6	Visualisering av omvandlares funktion. (Skapad med ChatGPT från prompt Bild av ett decentraliserat hus med elnät, batteri, omriktare och solpaneler samt AC/DC strömmar mellan dessa", 2025).	12
2.7	Home Assistants samverkan med EMHASS.	14
2.8	Skärmdump som visar EMHASS konfigurationssida.	14
2.9	Översikt över EMHASS och dess indata samt diverse tillämpningar. Bild tagen ifrån [58].	15
3.1	Flödesdiagram över arbetsprocessen.	18
3.2	Skärmdump från Home Assistant som visar tillägg.	19
3.3	Skärmdump från HA som visar generering av ej verklig data för elförbrukning.	20
3.4	Skärmdump från HA som visar generering av ej verklig data för solpanelsproduktion.	21
3.5	Skärmdump från HA som visar verklig data för elförbrukning i ett hushåll.	21
3.6	Skärmdump från HA som visar verklig data för solpanelsproduktion för ett hushåll.	22
3.7	Skärmdump från HA över en sensor som visar Nord Pool priser.	22
3.8	Import- och exportpriser som använts i optimeringar för den 27:e april 2025.	25

4.1	Graf över resultaten från kontrollfallet.	29
4.2	Resultat för fall 1.	29
4.3	Resultat av optimering med EMHASS tidigare målfunktion <i>Vinst</i> . . .	30
4.4	Resultat av optimering med EMHASS originella målfunktion <i>Kostnad</i> . 31	
4.5	Resultat av optimering med EMHASS originella målfunktion <i>Själv-</i> <i>konsumtion</i>	32
4.6	Resultat av optimering med den nya målfunktionen <i>Effekttoppar</i>	33
A.1	Laddningen av elbilen under optimeringen i case 5. Mellan kl 8:00 och kl 17:00 är bilen borta och förbrukar laddning som inte blir effekt till hushållet.	I

Tabeller

3.1	Konstanterna som använts i kostnadsberäkningen 3.1	25
3.2	Batteriets parametrar i fallen.	26
3.3	V2X-instansens parametrar i fallen.	26
3.4	Definering av målfunktioner för de olika fallen.	26
4.1	En översikt av vinsterna per dag för respektive optimeringsfall.	34
B.1	Rådata för kontrollfallet.	II
B.2	Rådata för fall 1, utan optimering. Kolumn C (Last [W]) inkluderar V2X vid 17:00.	III
B.3	Rådata för fall 2, målfunktion <i>Vinst</i>	IV
B.4	Rådata för fall 3, målfunktionen <i>Kostnad</i>	V
B.5	Rådata för fall 4, målfunktionen <i>Självkonsumtion</i>	VI
B.6	Rådata för fall 5, målfunktionen <i>Effekttoppar</i>	VII

1

Inledning

Detta kapitel behandlar projektets bakgrund, mål och syfte för att ge en tydlig förståelse för varför arbetet genomförs och vad det syftar till att uppnå. Vidare redogörs för projektets avgränsningar, vilket klargör vilka begränsningar som gäller för genomförandet.

1.1 Bakgrund

Den globala energisektorn genomgår just nu en djupgående omställning drivet av politiska spänningar världen över, klimatförändringar och snabb teknologisk utveckling [1]. Trots att effekterna av den första globala energikrisen från år 2022 har mildrats, speglas marknaden fortfarande av osäkerhet, och de fortsatta konflikterna i Ukraina har förvärrat situationen ytterligare [2]. Samtidigt som detta sker i världen ökar den globala medeltemperaturen vilket driver på extremväder och andra klimatrelaterade risker [1]. Energirelaterade utsläpp har ännu inte nått sin topp och över 90 procent av världens befolkning utsätts för luftföroreningar som orsakar miljontals förtida dödsfall årligen. Mot denna komplexa bakgrund växer en annan energisektor som fokuserar på ren energi.

Den globala övergången till ren energi har ökat de senaste åren och är främst ett resultat av statliga och industriella strategier [1]. Elektrifiering är en bärande komponent i klimatomställningen och spelar en avgörande roll. Denna utveckling medför därför också en kraftigt ökad elanvändning inom de kommande åren [3]. Detta ger betydande utmaningar kopplade till elnätets kapacitet, marknadens stabilitet och teknologiska tillämpningar i bred skala [1]. På kort sikt behöver utbyggnadstakten av elproduktionen och elnätet vara historiskt hög för att man ska ha möjlighet att möta det ökande elbehovet [3].

I Sverige och stora delar av Europa har elpriserna stigit kraftigt under de senaste åren och till stor del till följd av kapacitetsbrist i elnätet [4]. Detta har resulterat i regionala prisvariationer genom landet där hushåll och företag i vissa delar av landet har drabbats hårt. Genom att producera och konsumera el lokalt via solceller och energilagring i bostäder kan decentraliserade hem avlasta det centrala elnätet och dämpa prisnivåerna på lång sikt [5].

Med ökad elektrifiering av samhället har intresset för smarta hem och decentraliserade mikronät som energilösningar vuxit i popularitet [6]. Smarta energihante-

ringssystem gör det möjligt för hushåll att minska elkostnader samtidigt som de kan bidra till att stabilisera nätet [7]. Genom att kombinera lokala energikällor som solpaneler, batterilagring och flyttbara laster skapas så kallade mikronät [8]. Dessa mikronät används med optimering av energianvändningen i hushållet baserat på realtidsdata och prisvariationer [9].

Home Assistant (HA) är en öppen källkodsbasead plattform för hemautomation som kan integreras med sensorer och olika enheter för att möjliggöra styrning av energiflöden i ett hushåll [10]. Ett tillägg till HA är EMHASS (Energy Management for Home Assistant), vilket använder linjär optimering för att planera hushållets energianvändning kommande dygn [11]. Optimeringsalgoritmen tar hänsyn till produktion, konsumtion och lagring. Med hjälp av HA och EMHASS kan privata hushåll få tillgång till ett smart energihanteringssystem.

Energimarknadsinspektionen (Ei) har beslutat att alla svenska elbolag senast den förste januari 2027 ska införa effekttariffer [12]. Denna tariffmodell innebär att elpriset påverkas av de högsta effektuttagen under en månad. Innan tog man endast hänsyn till den totala energiförbrukningen. Syftet är att skapa en jämnare belastning på elnätet och därmed minska risken för kapacitetsbrist under timmarna med högst belastning [13].

Mot denna bakgrund får olika tekniska lösningar för energihantering en allt viktigare roll. Ett sådant framväxande koncept inom energioptimering är V2X (Vehicle-to-Everything), där V2X i detta sammanhanget innebär att elbilar inte enbart fungerar som transportmedel utan även som batteri [14]. Tekniker som kan utföra detta brukar benämnas V2G (Vehicle-to-Grid), vilket innebär att elbilar kan exportera el tillbaka till nätet, och V2H (Vehicle-to-Home), vilket innebär import av el från elbilen till det egna hushållet för konsumtion. Genom att ladda elbilen under lågpristider och använda den lagrade energin vid högtidspriser kan hushållet minska sina energikostnader [9] och bidra till att balansera det regionala elnätet [15].

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att vidareutveckla och utvärdera EMHASS som ett tillägg till HA. Detta för att se om det kan möta framtidens krav och hjälpa till att göra energianvändningen mer kostnadseffektiv i hushåll. Arbetet fokuserar på att optimera elförbrukning med fokus på effekttariffer, samt implementera stöd för optimering av V2X-teknologi. Detta kommer genomföras genom simulering och praktisk testning för att undersöka hur olika optimeringsstrategier påverkar hushållets elkostnader och hur decentraliserad energihantering kan bidra till ett mer ekonomiskt hållbart elsystem. Den praktiska testningen sker i samarbete med företaget Orust Engineering, som installerar solceller.

1.3 Mål

Målet med projektet är att vidareutveckla EMHASS för att hålla sig relevant till förändringar i hushållens energiförväntningar med V2X och effekttariffer. Projektets implementering av EMHASS ska även kunna användas för automatisering av elförbrukningen genom HA för att få realtidsdata och göra prognoser. Genom anpassning till elnätsbolagens prismodeller ska systemet kunna beräkna och minimera elkostnader. Detta baserat på både energiförbrukning och effektuttag efter definierade optimeringsmål som kostnadsminimering, ökad egenförbrukning och reducering av effekttoppar. Vid projektets slut ska svenska hushåll som betalar effekttariffer kunna använda implementeringen för att minska kostnaden för deras energiförbrukning. För att förbereda för en framtid med V2X-teknologi i Sverige, ska det även vara möjligt att smart styra en V2X-instans utifrån implementeringen.

1.4 Avgränsningar

För att klara av målet och uppfylla syftet med projektet inom den givna tidsramen och samtidigt säkerställa ett hanterbart omfång har följande avgränsningar gjorts inom projektet.

Avgränsningarna följer:

- Projektet är baserat på de effekttariffer och kostnader som finns hos elföretagen Ellevio och Göteborg Energi i ett hushåll som befinner sig i SE3, och anpassas därför till deras specifika modeller för effekttariffer och spotpriser.
- Optimeringen av energiförbrukningen görs utifrån att minimera kostnader som syns på elfakturan, inte utifrån att stabilisera elnätet eller exportera el.
- Kraven på effekttariffer från Ei utgår från månadens effekttoppar. Då EMHASS fungerar genom att prognostisera och optimera förbrukningen 24 timmar framåt så divideras månadskostnaden för effekttariffer per dag. Den här avgränsningen gör även att lösningen kan testas på ett dygn istället för en månad.
- Testerna tar endast hänsyn till solproduktion, spotpriser, exportpriser, ett batteri, en bil med V2X-lösning samt hushållets förbrukning som ej är beroende av flyttbara laster.
- Olika prognosmetoder som idag finns i EMHASS för att prognostisera solproduktion och energilaster kommer inte att testas, istället används data som ska representera ett trovärdigt mikronät för ett privat hushåll.
- Frekvensreglering är relevant, men kommer inte innefattas mer än genom fakta om betydelsen för V2G. Om detta skulle implementeras skulle det kräva

ytterligare sensorer och certifieringar som inte inkluderas i denna rapport.

- Projektet tar inte hänsyn till grundinvesteringar för de olika komponenterna i mikronätet.

2

Teknisk Bakgrund

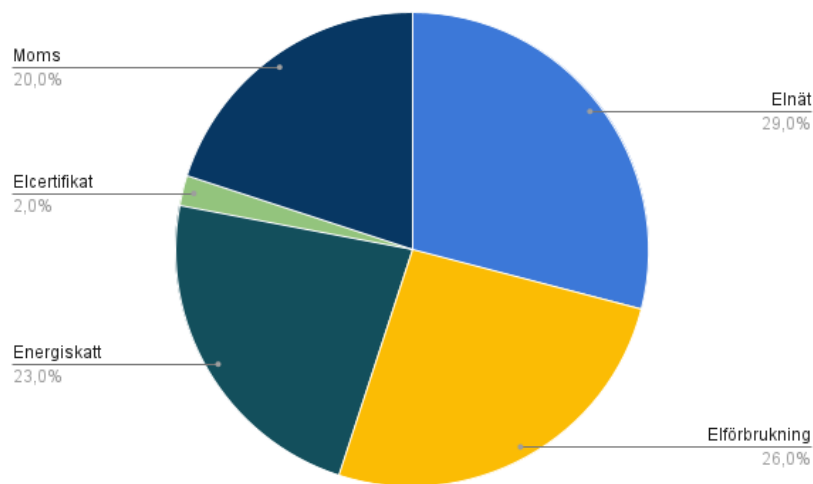
Följande kapitel behandlar den teoretiska och tekniska grunden för rapporten och introducerar centrala begrepp som används i analysen. Förutom en genomgång av effektagifter och andra faktorer som påverkar privata hushåll, beskrivs även uppbyggnaden av systemen HA och EMHASS.

2.1 Elkostnadens komponenter

För att förstå hur elkostnaden för hushåll byggs upp är det viktigt att känna till de olika delar som tillsammans påverkar den totala kostnaden. Elkostnaden påverkas inte bara av hur mycket el som används, utan också av marknadsförhållanden, val av avtal, samt statliga avgifter och skatter.

Energiförbrukningen i svenska hushåll varierar under året, generellt är elkostnaderna högre under vinterhalvåret än under sommaren [16]. Detta beror dels på ett ökat behov av uppvärmning och dels på att elpriserna ofta stiger under kalla månader på grund av hög efterfrågan.

Elkostnaden består i huvudsak av tre delar: kostnaden för den el som förbrukas (elhandelsavtal), kostnaden för att el transporteras till hushållet (elnätsavtal), samt energiskatt [17]. Därtill tillkommer avgifter för elcertifikat samt moms, vilket tillsammans utgör den totala elkostnaden (se figur 2.1). I följande avsnitt behandlas de olika delarna.



Figur 2.1: Hur elkostnader ser ut för eluppvärmd villa, värden tagna från [18].

2011 delade svenska kraftnät upp Sverige i fyra elområden [19], vars syfte är att tydliggöra var i elnätet som det finns så kallade flaskhalsar som begränsar hur mycket el som kan transporteras. Då majoriteten av Sveriges el produceras i norr finns det där ett överflöd medan det i södra Sverige finns behov av mer el än vad som produceras (se figur 2.2). Detta leder till att priserna i SE3 och SE4 ökar mer än i SE1 och SE2 när det är stor efterfrågan och kapaciteten för att transportera elen är begränsad.



Figur 2.2: Övergripande bild över Sveriges elområden. (Skapad med ChatGPT från prompt "skapa en bild för sveriges elområden", 2025)

Medan hushållen själva kan välja elhandelsavtal från omkring 140 olika leverantörer,

är elnätsavtalet bundet till det nätbolag som äger infrastrukturen i området [17]. Energiskatten är däremot statligt reglerad och baseras på den faktiska elanvändningen [20]. År 2025 är energiskatten satt till 54,875 öre/kWh (inklusive moms) i större delen av landet, med ett reducerat belopp på 42,875 öre/kWh (inklusive moms) i majoriteten av Norrlands kommuner och några kommuner i Svealand.

2.1.1 Elhandelsavtal

När man valt ett av de ca 140 olika elhandelsföretagen så ska man även välja vilket typ av avtal man vill ha. Några vanliga exempel på avtal är fast pris, rörligt pris (månadsbaserat) och timpris där fast pris vanligtvis innebär att man binder sig till ett pris under en period på 1-3 år [21]. Med rörligt elpris beräknas ett genomsnittligt elpris för hela månaden, vilket innebär att det inte spelar någon roll när under månaden elen används, precis som vid fast pris. Vid timpris däremot, påverkar tidpunkten för elanvändningen direkt vad man betalar. För varje timme betalar man det aktuella timpriset, vilket innebär att el som används under timmar med högt importpris blir kostsammare än el som används under timmar med lågt importpris. Timpris är därför den avtalsform där man som kund har störst möjlighet att påverka sin månadskostnad, förutsatt att man kan styra sin elanvändning till tider med låga priser.

Förutom att importera el så kan även privata hushåll eller företag exportera överskotts el till elnätet genom sitt elhandelsavtal. Denna överskotts el kan komma från exempelvis solproduktion [15] eller batterier [9], [14]. Exportpriset är olika beroende på avtal med elbolag men många priser baseras på spotpriset [22].

2.1.2 Elnätsavtal

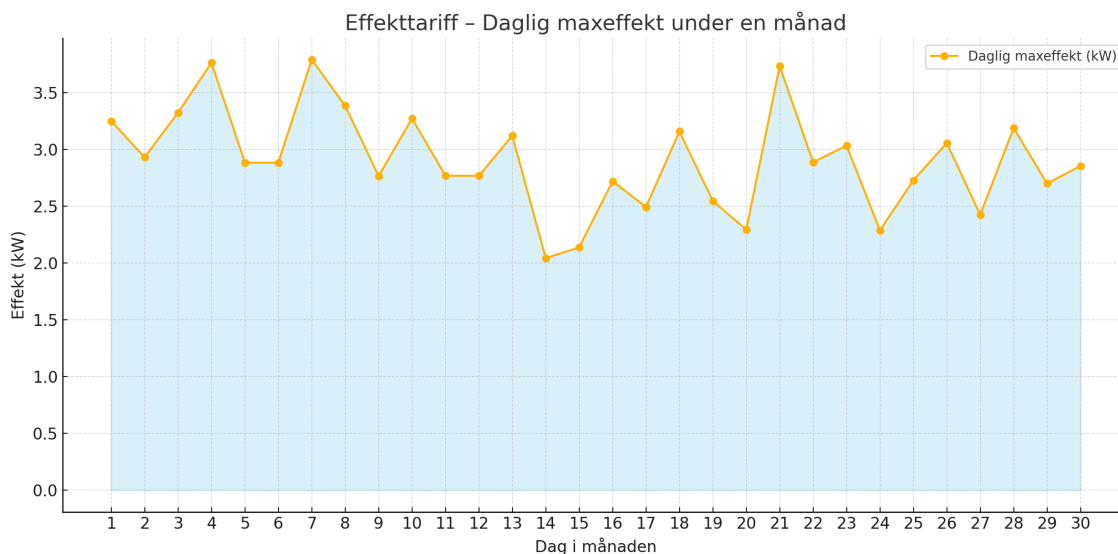
Den andra komponenten av elpriset är nätavgifter och efter beslut från Ei ska alla elbolag senast 2027 ändrat sina prismodeller för nätavgifter så att den innehåller en effektavgift [23]. Den nya prismodellen ska även innehålla en fast avgift, en kundspecifik avgift och en energiavgift. Där Ei:s beskrivning av den fasta avgiften är "avgiften ska baseras på abonnerad effekt eller motsvarande. Den kan till exempel utgå från hur stor huvudsäkningen är". För den kundspecifika avgiften så lyder beskrivningen "Den kundspecifika avgiften baseras på kostnader för mätning, beräkning och rapportering och ska bestämmas till ett fast belopp per kund". Både Göteborg Energi och Ellevio har slagit ihop den fasta avgiften och den kundspecifika avgiften till en och samma avgift.

Energiavgiften, även kallad överföringsavgift, baseras på hur många kilowattimmar (kWh) som transporteras genom elnätet [23]. Det är en separat kostnad från den avgift som elhandelsbolagen tar ut för den el som importeras och används. Överföringsavgiften kan beroende på elbolag variera under året och under samma dag. Efter Eis beslut är den stora förändringen effektavgiften som baseras på mängden kW man använder vid en given tidpunkt och ger upphov till en belastning på elnätet. Till skillnad från energiavgiften så ska effektavgiften variera för att återspegla

belastningen på nätet vilket betyder att den ska vara låg när det är låg belastning på nätet och tvärtom.

2.1.3 Effektariffer

Några elbolag som redan infört effekttariffer är Ellevio och Göteborg Energi där Ellevios prismodell gör att en effekttopp mellan 22-06 bara räknas som hälften så stor [24]. Detta uppmuntrar till att schemalägga sådant med högt effektuttag till dessa tider som exempelvis elbilsladdning eller uppvärmning av huset. Även Göteborg Energi har introducerat en prismodell där effektagiften baseras på vilken tid på dygnet som energi används [25]. Det som skiljer dessa åt är att Göteborg Energis modell även tar hänsyn till vilken tid på året det är, mellan 1 november - 31 mars under helgfria vardagar mellan 07-20 är effektagiften 132 SEK/kW. Under resterande delar av året så som helgdagar, röda dagar och alla dagar mellan 20-07 så är effektagiften 0 SEK. Detta avtal kommer dock med att man behöver binda sig till en effektgräns, där resultatet av att gå över gränsen fler än tre gånger är att man flyttas tillbaka till ordinarie prismodell.

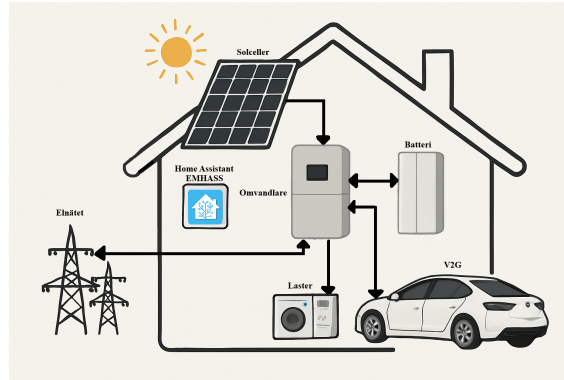


Figur 2.3: Daglig högsta effekt under en månad för ett hushåll (Skapad med ChatGPT från OpenAI från prompt "Skapa en graf över dagliga effekttoppar för ett hushåll", 2025).

Ellevio och Göteborg Energi mäter den genomsnittliga effekten som används varje timme och den högsta timmen på dagen sparas (se figur 2.3) [24], [26]. I slutet av månaden räknas medelvärdet ut för de tre högsta topparna från tre olika dagar, vilket ger grunden för avgiften. Detta värde multipliceras med priset per effekt och ger månadens effektkostnad.

2.2 Resurser i decentraliserade hushåll

Övergången till hållbar energi är avgörande för ett ansvarsfullt användande, detta inkluderar integrationen av förnybara energikällor inom bostadssektorn. Följande sektion ger en introduktion till några av de energikällor och komponenter som ett decentraliserat hem består av (se figur 2.4).



Figur 2.4: Avbild av komponenter som finns i ett decentraliserat hem. (Skapad med ChatGPT från prompt ”Ge mig en bild som representerar ett hus med solceller, omvandlare, batteri, V2G, elnätet, laster och integrerat med EMHASS i home assistant”, 2025).

2.2.1 Solceller och batterilagring

Solceller omvandlar solenergi direkt till elektricitet genom fotovoltaisk effekt [27]. Tekniken har utvecklats kraftigt de senaste decennierna och är idag en ekonomisk och teknisk lösning för storskalig och småskalig produktion [28]. Till exempel kan en solcellsanläggning på ett villatak i Sverige som har en total installerad effekt på omkring 5 kW ge ungefär 4000-5500 kWh på ett år då taket är fritt från skuggning. Att skaffa solceller till sitt hushåll är en kostnad [29]. Investeringar för solcellsanläggningar ligger idag på cirka 10 000 - 20 000 sek per installerad kW beroende av kvalitet, installation och geografiskt läge [27]. Privatpersoner med mikroproduktion av förnybar el, exempelvis från solceller, har rätt till en skattereduktion på 60 öre per kWh för upp till 30 000 kWh per år och bara upp till så mycket man själv importerat [30]. Det finns även regler för mikroproduktion som avgör ifall man måste registrera för moms [30].

Att kombinera solceller med batterilagring erbjuder stora möjligheter för hushåll att öka sin egenförbrukning och minska effekttoppar [27], [29]. En vanlig användning av solcellsanläggningar är enligt en forskningsstudie av Postvoit m.fl [27] att använda solenergin direkt till lasterna, medan överskottet lagras i batterierna för senare användning.

Kapaciteten på ett solcells batteri mäts i kilowattimmar (kWh) [31]. Dessa batterier finns i olika modeller och storlekar, vanligast är 10 kWh batterier i ett hushåll med solceller. Att ladda ett 10 kWh-batteri kräver att man tar hänsyn till flera

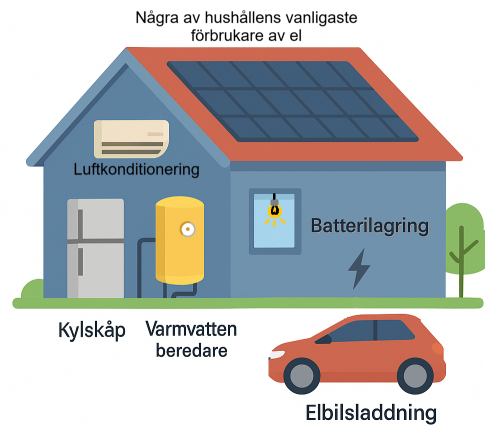
faktorer såsom laddningsmetod, batterikapacitet och laddarens effekt. Vid långsam laddning på cirka 1-2 kW kan det ta cirka 5-10 timmar att ladda ett 10 kW-batteri helt. Snabbladdning kan minska tiden till 1-2 timmar. Batteriers beteende påverkas av flera faktorer såsom temperatur, laddningsnivå (SOC, State Of Charge), strömnivå (C-rate), tidigare användningshistorik, tryck och åldrande [32]. I en studie av Wikner m.fl [32] visar på att höga SOC-nivåer och höga temperaturer påskyndar åldrandet. De kom även fram till att ett begränsat användningsintervall av SOC kan förlänga batteriets livslängd, samtidigt som hög C-rate och höga temperaturer kan leda till sidoreaktioner och strukturella förändringar i elektroderna, vilket försämrar batteriets kapacitet och motstånd över tid.

Trots solcellers stora potential finns flera utmaningar. Solceller är beroende av väderförhållanden och årstid vilket leder till oregelbunden elproduktion och risk för underproduktion vid molniga dagar och vinterperioder [27]. Samtidigt kan överskott under soliga dagar skapa obalanser i lokala elnät, speciellt när många hushåll importerar el samtidigt [33].

2.2.2 Flyttbara laster

Ett hushåll har många olika elektriska laster som enligt rapporten [34] kan kategoriseras i fyra grupper: nödvändiga, väsentliga, komfort och valfria laster. Nödvändiga laster inkluderar medicinsk utrustning och väsentliga kan vara kylskåp, belysning och säkerhetssystem. Komfortlaster består av värme, luftkonditionering och underhållning som TV, medan valfria laster omfattar poolpumpar och tvättmaskiner. Vid design av ett energilagringssystem är det viktigt att prioritera vilka laster som måste upprätthållas vid exempelvis strömavbrott.

I en studie av Postovoit m.fl [27] analyserades elförbrukningen i ett högkonsumerande familjehushåll med en förbrukning på cirka 2500 kWh per månad. De största lasterna var luftkonditionering med 33,1 kWh/dag, elbilsaddning på 11,72 kWh/dag och en varmvattenberedare på 11,55 kWh/dag. Andra stora var även kylskåp som drog 5,34 kWh/dag och diskmaskin på 0,99 kWh/dag. Övriga mindre laster som belysning och elektronik drog cirka 10 kWh/dag, dessa laster visas i figur 2.5. Detta gav i studien att energibehovet summerades till 83,4 kWh där 53,42 kWh skedde på dagtid och 29,98 kWh på nattid. De såg även att det maximala effektbehovet under dagen nådde upp till 11 kW. Ett normalhushåll enligt Energimyndighetens rapport [35] undersöker de hur hushållen använder el. Studien bygger på intervjuer och mätdata från 14 svenska hushåll. Elanvändningen för hushållen varierade kraftigt från cirka 3000 kWh/år till över 18000 kWh/år. De kom även fram till att en persons konsumtion av el varierar från 500 kWh per person om året till över 7000 kWh per person om året.



Figur 2.5: Hushåll med energikomponenter som solceller, belysning, luftkonditionering, varmvattenberedare, kylskåp, batterilagring och elbil. (Skapad med ChatGPT från prompt "Hushåll med energikomponenter som solceller, belysning, luftkonditionering, varmvattenberedare, kylskåp, batterilagring och elbil", 2025).

2.2.3 Elbil och V2X

Elektriska fordon, specifikt elbilar utgör en stor del i omställningen mot ett hållbart transportsystem [36]. De erbjuder hög energieffektivitet, minskade koldioxidutsläpp och lägre bullernivåer jämfört med traditionella fordon. Marknaden för elbilar växer snabbt globalt [37]. Kollar man på elbilsanvändningen i USA mellan 2017 och 2022 har det ägandet ökat från 0,64 procent till 2,92 procent, med största andel som består av husägare jämfört med hyresägare.

Vehicle-to-Everything (V2X) är ett brett begrepp som innefattar all teknik som möjliggör kommunikation mellan en bil och dess omgivning. Begreppet Vehicle-to-Grid (V2G) är specifikt tekniken att ladda ur elbilsbatterier till elnätet [38]. Enligt Vattenfalls rapport om V2G:s roll som energiförvaring [38] beskriver de potentialen och utmaningarna med tvåvägsladdning av elbilar. Elbilar kan fungera som mobila energilager och bidra till nätstabilitet genom att ladda och ladda ur beroende på elnätets behov. Tekniken stödjer integrering av förnybar energi och hantering av effekttoppar, vilket kan minska investeringsbehovet i nätinfrastrukturen. Vattenfall skriver även att V2G-tekniken kan skapa kostnadsbesparingar för både elnätsbolag och privatkunder. I ett mikronät kan V2G bidra till minskade driftkostnader upp till 15,6 procent [39]. Genom integration med Vehicle-to-Grid kan elbilar även bidra till lastbalansering och öka andelen förnybar energi i nätet [36].

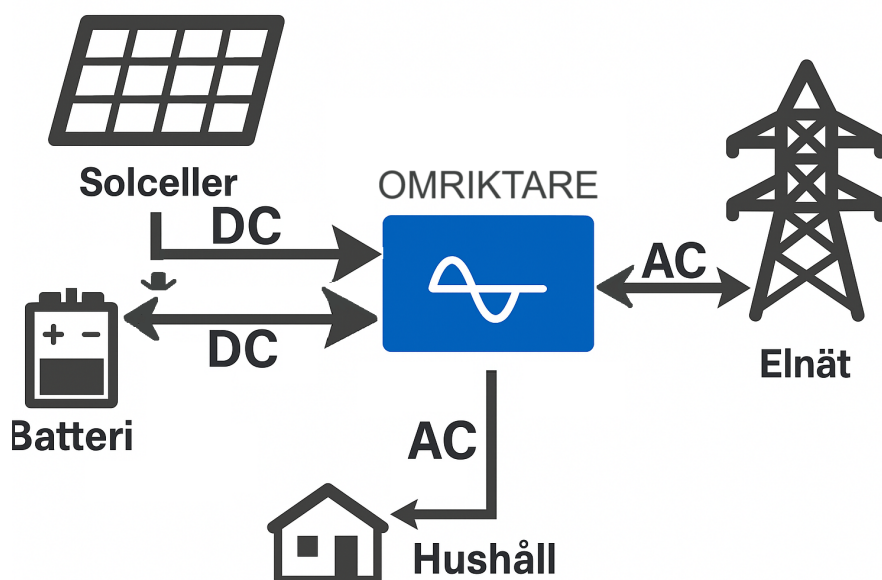
Med V2G kan man stabilisera frekvensnätet genom olika reserver för nätet. Svenska Kraftnät måste ha tillgång till olika tjänster för att balansera nätet vilket görs genom att köpa olika typer av reserver som V2G från aktörer i elmarknaden [40]. Dessa frekvenshållningsreserver ger väsentlig stabilisering av frekvensen i nätet och är därför en förmåga i nätet som måste kunna garanteras varje timme året runt [41]. Därför kan man få utdelning av att vara en reserv av nätet då man kompenseras för att vara redo för nerstängning [42].

I sin forskning [39] skriver de att avancerade beslutsmodeller av smarta system är av största vikt för att hantera osäkerheter i förnybara energisystem med lastvariation. Dessa osäkerheter som behandlas i studien omfattar fluktuationer i energiproduktionen med varierande solkraft, plötsliga variationer i lastbehov då hushållens elförbrukning kan ändras snabbt och oförutsägbart. Det finns också fortfarande utmaningar med V2G som behov av standarder, datasäkerhet och affärsmodeller för effektiv integration i marknaden som ännu inte finns [38]. Även om elbilar minskar de totala utsläppen finns det fortfarande tekniska utmaningar som inkluderar batteriets livslängd och kostnad [43].

2.2.4 Växelomriktare med solceller i ett mikronät

En växelriktare omvandlar likström från solceller till växelström som kan användas i hushåll och exporteras till elnätet liknande figur 2.6 [44]. Både solpaneler och batterier levererar likström medan nät och hushållsapparater kräver växelström [45]. Växelriktaren reglerar energikvaliteten och tillåter styrning av effektfaktor och andra stödtjänster för elnätet.

Sveriges Energimyndighet skriver i sin rapport [46] att utan växelriktare skulle den genererade energin från solceller inte vara användbar i vanliga hushåll. Den möjliggör smart styrning och säkerhet som exempelvis koppla bort anläggningen vid strömavbrott som är ett krav från säkerhetsföreskrifterna.



Figur 2.6: Visualisering av omvandlares funktion. (Skapad med ChatGPT från prompt Bild av ett decentraliserat hus med elnät, batteri, omriktare och solpaneler samt AC/DC strömmar mellan dessa", 2025).

2.3 Smarta System - Home Assistant

Home Assistant (HA) är ett gratis program med öppen källkod för att implementera smarta hem. Programmet gör att man kan styra och automatisera uppkopplade enheter i hemmet [47], samt enkelt komma åt data som genereras [48]. Följande avsnitt beskriver olika funktioner i HA och hur de används.

Entiteter innehåller data [49] och har namn, tillstånd och attribut. Tillstånd representerar entitetens nuvarande värde och attribut är den historiska data som entiteten innehåller. Sensorer är en typ av entitet i HA med förmågan att lagra attribut i realtid från komponenter [50]. Vid installation av kompatibla enheter är standarden för åtkomsten till data i form av sensorer och andra entiteter. Sensorer används vid användning av solpanelers elproduktion och hushållets elförbrukning (se figur 2.7) [51].

Terminalkommandon är en funktion i HA som tillåter en användare att konfigurera upp egna terminalkommandon som sedan kan utföras manuellt eller med hjälp av automationer [52]. Dessa är användbara för att skapa åtgärder som kräver mer underliggande logik och vid hantering av data från entiteter. Automationer är en funktion i HA som möjliggör automatisering av åtgärder och kommandon genom att entitetens tillstånd triggar automationen [53].

Tilläggs paketet i HA utökar funktioner tillgängliga för användaren [54] där det finns både officiella tilläggs paket samt inofficiella tredjepartstilläggs paket. Ett officiellt tilläggs paket är Studio Code Server vilket är ett verktyg som möjliggör att se samt ändra de underliggande kodfilerna direkt i HA. EMHASS är ett inofficiellt tredjepartstilläggs paket som optimerar energianvändning [11].

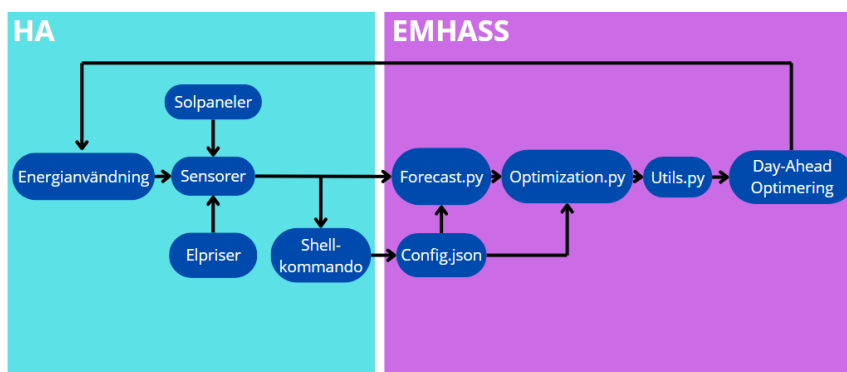
2.4 EMHASS uppbyggnad och funktion

EMHASS (Energy Management for Home Assistant) är ett optimeringsverktyg anpassat för privata hushåll [55]. Likt HA har EMHASS öppen källkod. Programmet är skrivet i Python och designat för att automatisera och optimera energianvändningen i ett hushåll med stöd av HA. EMHASS som ett tillägg till HA gjordes för att ta kontroll över solproduktion, energianvändningen, anpassa efter elpriser och batterilagring för att göra hushållet matematiskt optimalt med hjälp av linjärprogrammering. EMHASS riktar in sig till användare som har installerade solceller och flyttbara laster som elbilar och poolpumpar m.m. Med EMHASS kan dessa laster schemaläggas på ett sätt som optimerar egenanvändningen av solenergi och/eller minimerar elkostnaden beroende på vald optimeringsfunktion. Följande avsnitt förklarar kodens uppbyggnad i EMHASS.

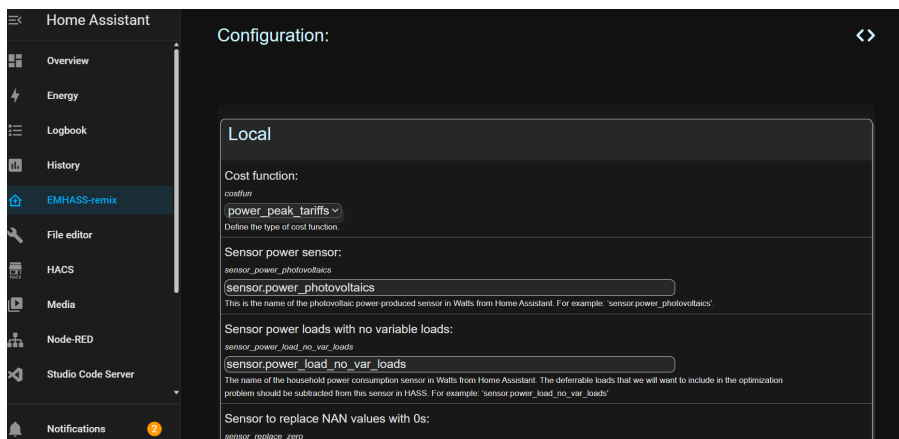
2.4.1 Uppbyggnad av EMHASS

I figur 2.7 visas en representation av samverkan mellan HA och EMHASS. EMHASS börjar med datahämtning från Home Assistant via ett REST API. Detta

betyder att datan laddas upp och hämtas från en HTTP-server [56]. Genom förfrågan i REST API får EMHASS tillgång till sensordata som aktuell och historisk solproduktion (`sensor.power_photovoltatics`), hushållets basförbrukning (`sensor.power_load_no_var_loads`) och prognos av elpriser. I EMHASS finns det en konfigurationssida där alla parametrar definieras utifrån ens egen anläggning och optimeringsbehov (se figur 2.8). Sidan byggs upp utifrån fem olika filer, två stycken json-filer som ger värdet på parametrarna, en javascript-fil som beskriver hur parametrarna påverkar konfigurationssidan. Det finns även en HTML-fil som presenterar upp konfigurationssidan på servern och en csv-fil som kategoriserar alla parametrar. Den övergripande logiken för hela processen presenteras i figur 2.7



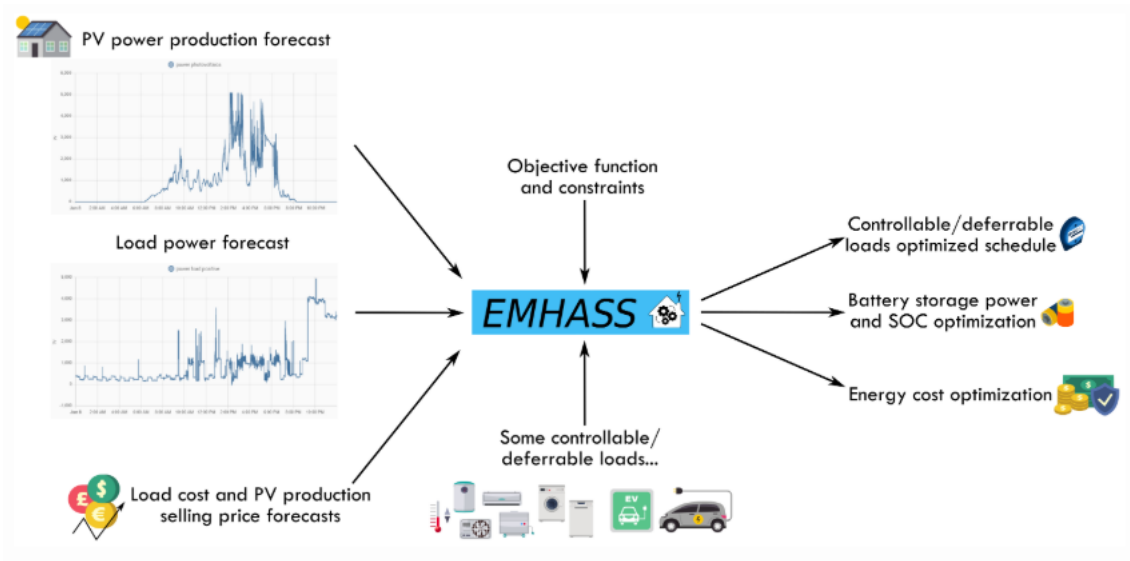
Figur 2.7: Home Assistants samverkan med EMHASS.



Figur 2.8: Skärmdump som visar EMHASS konfigurationssida.

Med den insamlade datan genererar EMHASS flera prognoser, bland annat för solproduktion, elförbrukning samt import- och exportpriser på elnätet [57]. Dessa prognoser ligger till grund för den efterföljande optimeringen. Med den prognostiserade datan skapas ett optimalt schema för elanvändningen utifrån den valda målfunktionen (se figur 2.9). Hur optimeringen ser ut för respektive målfunktion förklaras i kommande delkapitel. Resultatet sparas i Home Assistant som sensorer,

vilka uppdateras automatiskt och kan användas i automationer för att styra fysiska enheter, såsom smarta switchar.



Figur 2.9: Översikt över EMHASS och dess indata samt diverse tillämpningar. Bild tagen ifrån [58].

2.4.2 Prognosers funktion

Det finns tre metoder för att få tag i prognoser för solproduktionen. Open-Meteo är ett programmeringsgränssnitt som ger en prognos över vädret på den plats hushållet befinner sig [59], datan kan sedan användas av EMHASS för att prognostisera energiproduktionen [57]. Solcast och Solar är två andra programmeringsgränssnitt som direkt ger prognoser över solproduktionen vid hushållet.

Prognoser över hushållets kommande elförbrukning kan fås fram med hjälp av tre metoder [57]. Metoden som benämns Typical i EMHASS fungerar så att den tar in historisk data från de senaste 365 dagarna. Utifrån det så räknas ett medelvärde ut för varje veckodag och timme. Metoden som heter Naiv i EMHASS tar in den historiska datan från senaste perioden och antar att kommande period ser likadan ut. I den tredje metoden finns flera alternativ beroende på användarens behov, metoden ger möjligheten att träna en modell med data över historisk elförbrukning, ange data till en redan existerande modell eller alternativet att optimera en existerande modell [60]. Vid träning av en modell används en av maskininlärningsmodellerna linjär regression, elastic net eller K-närmaste-grannar beroende på användarens val.

Vid prognoser över import- och exportpriser till och från elnätet saknas det metoder i EMHASS [57]. Användaren förväntas ange importpriserna manuellt, och det finns alternativ till att ange olika priser beroende på om man har ett rörligt elavtal eller ett fast. Vid ett rörligt elavtal kan man ange data från Nord Pools spotpriser där både dagens och morgondagens priser sätts in.

Vid prognostisering av alla typer av data ger EMHASS möjligheten att manuellt välja en egen prognos genom antingen en csv-fil eller genom att skicka in en python-lista i terminalkommandot som initierar optimeringen.

2.4.3 Optimeringens funktion med linjärprogrammering

EMHASS använder sig utav linjär programmering för optimering av energisystemet i hemmet [61]. Linjär optimering består utav en målfunktion och en eller flera begränsningar. Optimeringen hittar den bästa lösningen till målfunktionen inom begränsningarnas ramar och EMHASS har tre målfunktioner som användaren kan välja att optimera utifrån. Målfunktionen och begränsningarna består alla utav linjära ekvationer [62], [63], [64].

Begränsningarna i EMHASS består utav två typer, begränsningar för maximala respektive minimala SOC av komponenter samt maximal import och export effekt, men även begränsningar som balanserar energiförbrukningen i hemmet vilket visas i ekvation 2.1.

$$P_{PV} - P_{load} + P_{grid} + P_{sto} + V2X_{P_{sto}} = 0 \quad (2.1)$$

I rapporten benämns de olika målfunktionerna för EMHASS-optimeringarna med kursiv stil och stor första bokstav. Målfunktionen *Vinst* (kallas "profit" i konfigurationen) försöker maximera den totala vinsten, inklusive exporterad och importerad el från nätet [61]. Den tar hänsyn till import- och exportpriserna $unit_{LoadCost}$ och $unit_{SellPrice}$ vid optimeringen samt importerad och exporterad el från elnätet P_{imp} och P_{exp} . Optimeringen sker över ett tidsintervall Δt_{opt} indelat i timmar. En representation av målfunktionen syns i ekvation 2.2.

$$\sum_{i=1}^{\Delta t_{opt}} unit_{SellPrice} \cdot P_{exp}[i] - unit_{LoadCost}[i] \cdot P_{imp}[i] \quad (2.2)$$

Målfunktionen *Kostnad* (kallas "cost" i konfigurationen) syftar till att minimera kostnaden för importerad el från elnätet, utan att ta hänsyn till möjligheten att exportera el [61]. Funktionen representeras i ekvation 2.3, där den totala kostnaden för dygnet minimeras baserat på timvisa elkostnader.

$$\sum_{i=1}^{\Delta t_{opt}} unit_{LoadCost}[i] \cdot P_{imp}[i] \quad (2.3)$$

Målfunktionen *Självkonsumtion* (kallas "self-consumption" i konfigurationen) ser ut som *Vinst* fast med en vikt på den importerade elen för att uppmuntra optimeringen att använda mer av elen från solpaneler och batteri för konsumtion istället för att exportera. *Självkonsumtion* representeras i ekvation 2.4.

$$\sum_{i=1}^{\Delta t_{opt}} unit_{SellPrice} \cdot P_{exp}[i] - unit_{LoadCost}[i] \cdot P_{imp}[i] \cdot vikt \quad (2.4)$$

I optimeringen används begränsningarna av komponenterna för att balansera energiförbrukningen mellan komponenterna. Den exporterade elen kan komma både från solpaneler och batterier där balanseringen gör att mikronätet kan importera billig el från elnätet eller från solproduktionen i batterierna, för att sedan exportera el när elpriset är högt. Genom att avväga batteriet, bilen, solproduktionen och förbrukningen skapas en optimering över hur el ska förbrukas och fördelas i hushållet för att användaren ska maximera sin vinst från mikronätet.

EMHASS har tre optimeringsmetoder som användaren kan välja mellan. Perfekt optimering är en av dessa som utgår från att datan man har för det kommande dygnet är korrekt med framtiden. Dygnsförhandsoptimering använder en vald prognosmetod för att prognostisera och optimera ett dygn framåt. Optimeringsmodellen MPC liknar dygnsförhandsoptimering, men skiljer sig genom att den utför optimeringar med högre frekvens och kontinuerligt uppdaterar beslut baserat på ny data.

2.5 Tillägg och kodpaket i GitHub och Docker

GitHub är en plattform för att lagra, dela och utveckla kod [65]. För versionshantering och uppdatering av kod används Git [65]. Både Home Assistant och EMHASS är öppen källkod och finns publicerade på GitHub, vilket underlättar vidareutveckling. Det är exempelvis möjligt att skapa en så kallad “fork”, det vill säga en kopia av ett kodarkiv som man själv har kontroll över. Om önskat kan denna fork senare slås samman med det ursprungliga arkivet genom en så kallad “pull request”.

Docker är en plattform som möjliggör paketering av kod i så kallade “containers”, vilket förenklar distribution och körning [66]. Genom att bygga en container från ett kodarkiv kan denna laddas upp som ett kodpaket på GitHub och göras lättillgänglig. För EMHASS används arkitekturen “aarch64” på kodpaketet.

Utöver det huvudsakliga kodarkivet har EMHASS även en separat kodarkiv, “emhass-add-on”, som är anpassad för Home Assistant-tillägget [67]. Det är denna länk som anges i HA för att tillägget ska bli synligt. För att ett tillägg ska fungera korrekt krävs en specifik struktur i arkivet, exempelvis en “repository.yaml”-fil. Detta arkiv refererar vidare till EMHASS kodpaket, vilket gör det möjligt att köra det som en container direkt från HA.

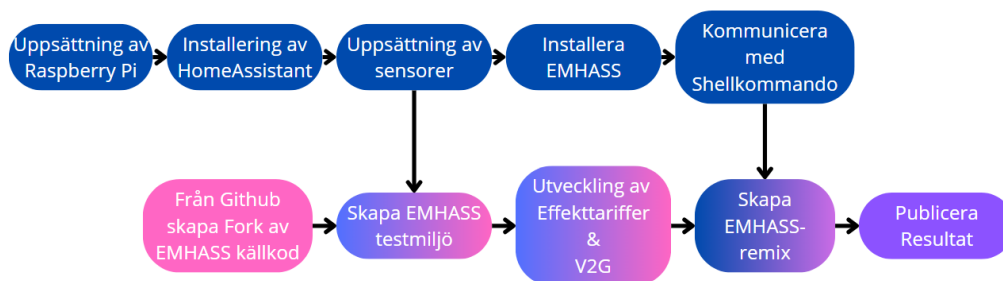
3

Metod

I detta kapitel beskrivs projektets metod och arbetsprocess. Det inkluderar installationen av Home Assistant och EMHASS, utvecklingen av effektariff- och V2X-funktioner samt hur de slutliga lösningarna såg ut. Kapitlet tar även upp under vilka förutsättningar resultatinsamlingen genomfördes.

3.1 Planering av arbetsprocess

För att se till att projektet åstadkom de uppsatta målen ifrån inledningen behövde en planering utföras. Det påbörjades en insamling av information för att skapa en bra planering. Följande flödesdiagram visar en överblick av det slutgiltiga arbetsprocessen för projektet (se figur 3.1):



Figur 3.1: Flödesdiagram över arbetsprocessen.

Arbetsprocessen inledes med installationen av HA och tillägget EMHASS på en Raspberry Pi, detta för att utveckla kompetens inom programmen och få en större förståelse för uppgiften. Sedan konfigurerades EMHASS och data-genererande sensorer utvecklades för att göra de första testerna. Anledningen var att samla tillräckligt med information för att förstå hur utvecklingen av tariff och V2X funktionen skulle implementeras. Parallellt med denna processen skapades en testmiljö för EMHASS där programmet kunde utvecklas och testas, med hänsyn till de funktioner projektet avsåg implementera. Efter funktionerna implementerats och testats, installerades den modifierade versionen av EMHASS på en HA instans försedd av Orust Engineering. Tester utfördes med verklig data och implementeringen kunde utvärderas.

Resultatinsamling påbörjades sedan med utgångspunkt i ett antal fall för att testa olika funktioner, mer information följer nedan.

3.2 Installationer

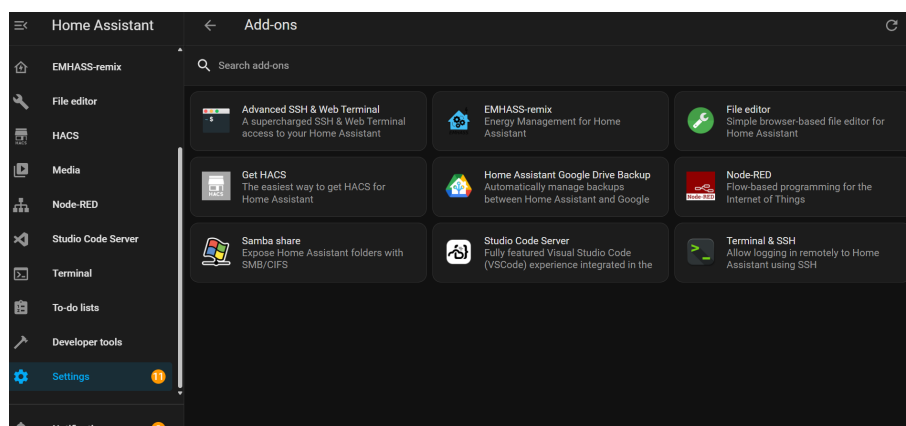
Följande avsnitt beskriver hur HA och EMHASS installerades och konfigurerades. Den underliggande processen för resultaten presenteras också, samt en del av programmeringen som utförts.

3.2.1 Home Assistant

Home Assistant-operativsystemet (HAOS) installerades på en Raspberry Pi 4 Model B med 4 GB RAM via ett SD-kort. Instansen kördes kontinuerligt på en stationär plats och var uppkopplad till Wi-Fi. Med denna funktion kunde man påverka hårdvaran på distans och möjliggöra testning av olika automationer och nya funktioner i Home Assistant-miljön.

3.2.2 Tillägget EMHASS

Tillägget EMHASS installerades genom Home Assistants tilläggsbutik, se figur 3.2 för hur detta ser ut i HA. Eftersom EMHASS inte är ett officiellt tillägg behövde GitHub-länken till kodarkivet först införas för att möjliggöra en installation.



Figur 3.2: Skärmdump från Home Assistant som visar tillägg.

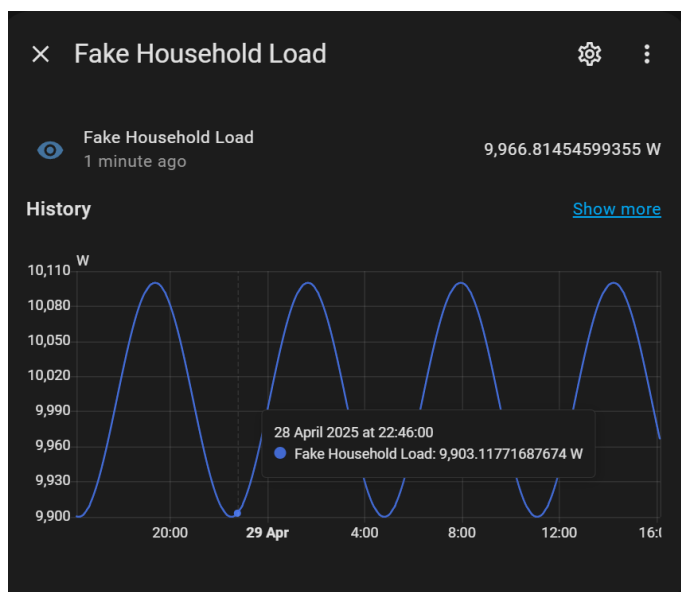
När EMHASS hade utvecklats med de funktioner projektet behandlat, skapades ett nytt kodarkiv utformat på samma sätt, men som sammanlänkades till en Docker-image av den nya koden, som beskrivet i avsnitt 2.5. Därefter installerades tillägget identiskt med den metod som tidigare beskrevs.

3.3 Konfigurationer i Home Assistant

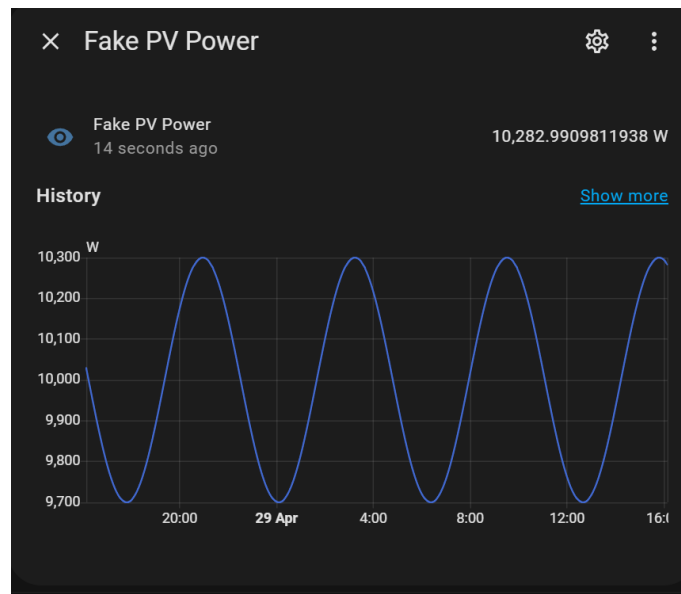
EMHASS kräver indata i form av sensorer, elpriser och historisk data för att kunna utföra en optimering. Detta måste konfigureras utanför själva tillägget, i Home Assistant. Detta beskrivs i mer detalj i nästkommande avsnitt. Se figur 2.8 för bild över EMHASS konfigurationssida.

3.3.1 Sensorer och Data generering

För att EMHASS ska fungera korrekt och utföra optimeringar behövs, som tidigare nämnt, data över energianvändning och solpanelsproduktion för minst de två senaste dagarna. Eftersom detta saknades i testanläggningen skapades sensorer i HA-instansen som kunde simulera data istället. Sensorerna skapades med hjälp av YAML, och datagenereringen följde enkla sinus- och cosinuskurvor, där solpanelsproduktionen modellerades med en sinuskurva och energianvändningen med en cosinuskurva. Se figur 3.3 och 3.4 för data över de skapade sensorerna.

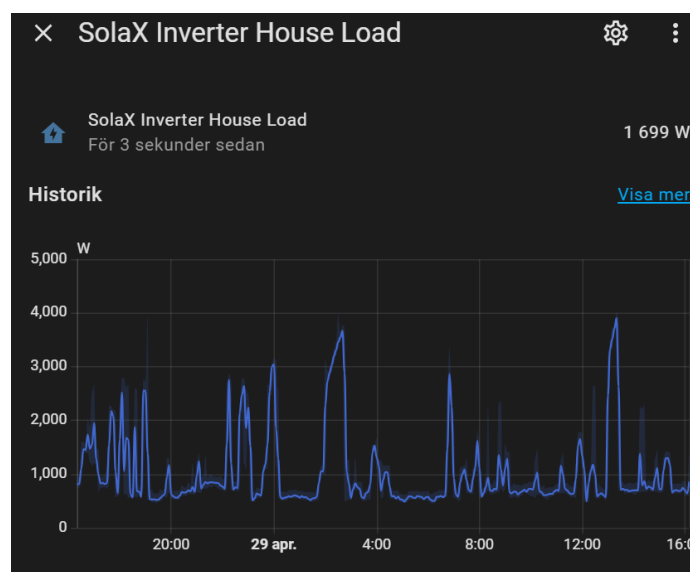


Figur 3.3: Skärmdump från HA som visar generering av ej verklig data för elförbrukning.

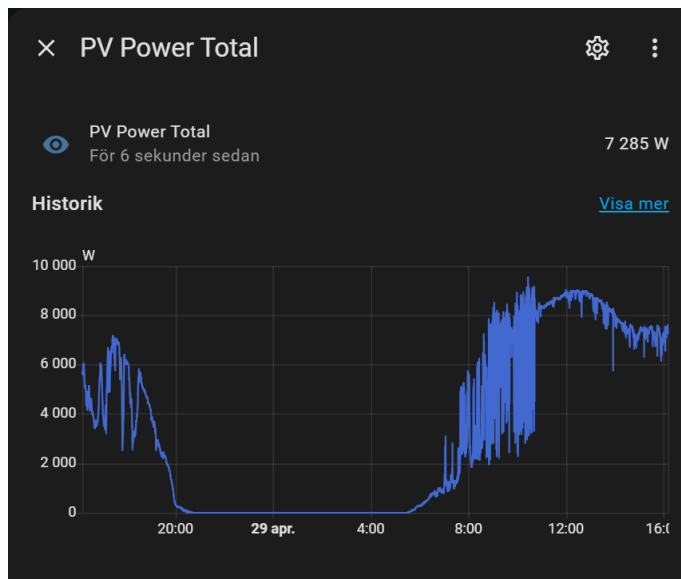


Figur 3.4: Skärmdump från HA som visar generering av ej verklig data för solpanelsproduktion.

I den slutliga instansen som användes för att demonstrera de utvecklade EMHASS funktionerna, användes sensorer med verklig historisk data av solproduktion och elförbrukning. Hushållet tillhörande sensorerna var belägen i Helsingborg och data samlades in under delvis soliga dagar med relativt hög solpanels effektutveckling. Se figur 3.5 och figur 3.6 för data över de verkliga sensorerna.



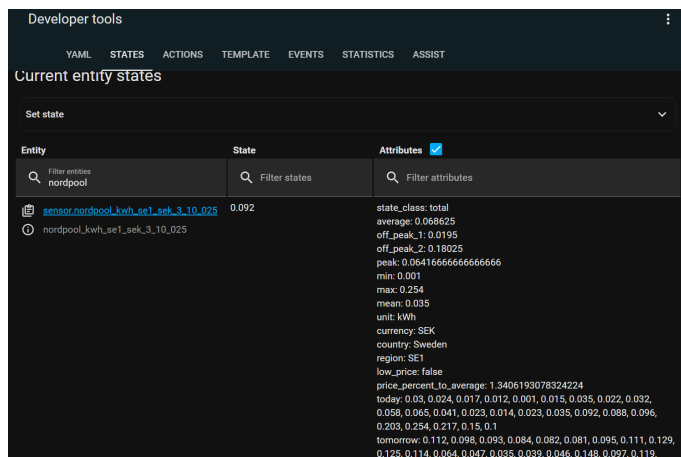
Figur 3.5: Skärmdump från HA som visar verklig data för elförbrukning i ett hushåll.



Figur 3.6: Skärmdump från HA som visar verklig data för solpanelsproduktion för ett hushåll.

3.3.2 Elpriser

Elpriser implementerades i EMHASS-optimeringen genom att först installera en HA-integration som kontinuerligt laddar upp spotpriserna från Nord Pool. Se figur 3.7 för bild över Nord Pool sensors data.



Figur 3.7: Skärmdump från HA över en sensor som visar Nord Pool priser.

För att EMHASS skulle använda elpriserna vid utförande av optimeringar, utnyttjades terminalkommandon. Kommandot som användes var skrivet av EMHASS skapare David Hernandez [68]. Kommandot uppdaterar först de relevanta variablerna i EMHASS, och kör sedan en dygnsförhandsoptimering.

3.4 EMHASS utveckling

En fork av kodarkivet skapades på GitHub, och de uppdaterade ändringarna som gjordes i källkoden publicerades på denna fork. Följande kapitel går in på hur utvecklingen av EMHASS utfördes.

3.4.1 Testmiljö

För att effektivt kunna göra ändringar i källkoden för EMHASS och testa dem, installerade samtliga utvecklare en Python-testmiljö på sina datorer. Testmiljön är en separat instans av EMHASS som kan kopplas till en HA-instans via en fjärrlänk, och den använder den historiska datan av elförbrukningen från denna i optimeringarna. Testmiljön installerades genom att följa stegen på EMHASS:s hemsida [69], men med vissa modifikationer eftersom problem uppstod under installationen som inte fanns med i dokumentationen.

3.4.2 Implementering av effekttariffer

Effekttariffer fungerar, som tidigare nämnt, genom att en kostnad appliceras på ett bestämt antal effekttoppar under en månad. För att kunna optimera med hänsyn till denna typ av fakturering skapades en ny målfunktion, *Effekttoppar* (kallas "power_peak_tariffs" i konfigurationen), utöver de tidigare nämnda i avsnitt 2.4.3. *Effekttoppar* definieras enligt ekvation 3.1.

$$\text{Vinst} = -\frac{C_{\text{topp}} \cdot P_{\text{topp}} + C_{\text{fast}}}{N_{\text{dagar}}} + \sum_{i=1}^{\Delta t_{\text{opt}}=24} (C_{\text{spot}}[i] \cdot P_{\text{exp}}[i] - C_{\text{imp}}[i] \cdot P_{\text{exp}}[i]) \quad (3.1)$$

Här är C_{topp} och C_{fast} kostnader för effekttoppen och det fasta månadspriset, specifika för det bolag man har sitt elnätsavtal hos. Summan i ekvation 3.1 är kostnadsskillnaden mellan exporterad och importerad el från elnätet under 24 timmar. I den aktuella lösningen implementerades även i konfigurationen ett val av elleverantör. Detta möjliggör för användaren att välja mellan kostnadsalternativ för Ellevio och Göteborg Energi. Funktionen är modulärt implementerad i källkoden, vilket gör det enkelt att implementera fler alternativ vid behov. N_{dagar} är antal dagar i månaden, C_{spot} är spotpriset från Nord Pool, P_{exp} är exporteffekten, P_{imp} är importeffekten. P_{topp} representerar den högsta effekten under dagen. C_{imp} är importpriset som beräknas enligt ekvation 3.2, där överföringskostnaden $C_{\text{överföring}}$ beror på ens elnätsbolag och skatten C_{skatt} beror på den nuvarande energiskatten. Faktorn 1.25 är ett allmänt tillägg på 25 % moms. Optimeringsmodellen försöker maximera (3.1) för att uppnå så stor vinst som möjligt. Uppmärksamma att man enligt modellen betalar för toppen som om det vore medeffekttoppen denna månad, vilket oftast inte kommer stämma, men det uppfyller syftet att sänka effektopparna.

$$C_{\text{imp}} = (C_{\text{spot}} + C_{\text{överföring}} + C_{\text{skatt}}) \cdot 1.25 \quad (3.2)$$

3.4.3 Implementering av V2X

EMHASS har redan en modul som inkluderar batteri i optimeringsberäkningarna. Utvecklingen av V2X-funktionaliteten inleddes därför med att skapa en ny modul med liknande funktionalitet. För att den nya batterimodulen skulle representera ett elbilsbatteri ur optimeringsmodellens perspektiv introducerades tre nya parametrar: vilka tidsfönster bilen är hemma, hur mycket laddning som förväntas förbrukas under användning av fordonet, samt vilken minimum nivå av SOC som önskas för fordonet vid avfärd. Alla dessa parametrar anges manuellt i konfigurationssidan och implementeras som begränsningar i optimeringen. För att ge optimeringsmodellen ett incitament att inte ladda ur bilen helt i slutet av dagen gjordes ett tillägg på målfunktionen för vad man hade behövt betala för att ladda bilen till max nästa dag. Detta utifrån dagens elpriser. Denna kostnaden visas i ekvation 3.3, där SOC är laddningstillstånd. Detta tillägg är inbyggt i alla målfunktioner om man väljer V2X-funktionen, men visas inte som en verklig kostnad för användaren. Detta är långt från en exakt beräkning, och den tar inte hänsyn till kostnaden av effekttoppar.

$$(SOC_{max} - SOC_{00:00}) \cdot E_{kapacitet} \cdot C_{imp,00:00} \quad (3.3)$$

Där SOC_{max} är högsta tillåtna laddning för elbilsbatteriet, $SOC_{00:00}$ är elbilsbatteriets laddning vid slutet på tidsintervallet för optimeringen och $E_{kapacitet}$ är den nominella lagringskapaciteten av elbilsbatteriet.

3.4.4 Kontroll av implementeringar

För att kontrollera att målfunktionen för effekttariffer samt att V2X-instansen fungerar som planerat görs en kontroll av dessa genom ett test. Kontrollen görs på ett mikronät med V2X-instans, solproduktion, import- och exportpriser samt energiförbrukning utan flyttbara laster. Datan för V2X-instansen, solproduktionen samt import- och exportpriserna är samma som för fallen i avsnitt 3.5 nedan. Datan för energiförbrukningen i hushållet är en uppskattning utav energibehovet för ett hushåll med väldigt stora laster.

3.5 Optimering för olika Fall

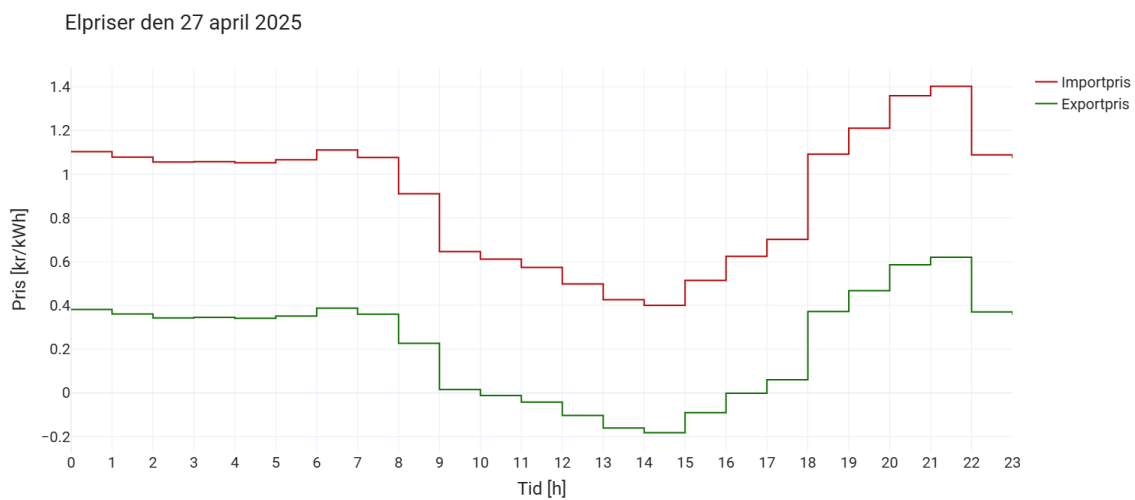
Olika fall testas för att jämföra och utvärdera vilken optimering som presterar bäst, samt hur olika faktorer kan påverka resultatet. I alla fallen består mikronätet av ett batteri, en V2X-instans, solpaneler samt en uppskattning på ett större hushålls elförbrukning som ej är beroende på flyttbara laster.

Ellevios elavtal med deras effekttariffer används för importpris i alla fallen. Mellan klockslagen 22:00 till 06:00 alla dygn kommer effekttopparna halveras vid beräkning av dagliga maxeffekttoppen. I tabell 3.1 presenteras värdena på alla konstanter som använts i kostnadsberäkningen.

Tabell 3.1: Konstanterna som använts i kostnadsberäkningen 3.1

Konstant	Värde
C_{topp}	81.25 SEK/kW
C_{fast}	365 SEK per månad
$C_{\text{överföring}}$	0.0625 SEK/kWh
C_{skatt}	0.439 SEK/kWh
N_{dagar} (April)	30

Exportpriserna C_{spot} som används i optimeringarna motsvarar spotpriserna från Nord Pool för den 27 april 2025. Importpriserna C_{imp} utgörs av spotpriset adderat med Ellevios överföringsavgift (0.0625 SEK/kWh) och energiskatt (0.439 SEK/kWh) [20], varefter summan multipliceras med 1.25 för att inkludera 25% moms. Dessa priser finns i figur 3.8.

**Figur 3.8:** Import- och exportpriser som använts i optimeringar för den 27:e april 2025.

För att få data för solproduktion har data från ett hushålls HA-instans använts som fått tillgång till genom företaget Orust Engineering. Som nämnt i avsnitt 2.4.2 kan elförbrukningen också prognostiseras i EMHASS, men för resultatinsamlingen för samtliga fall har en speciellt anpassad last för elförbrukningen använts. Denna last är ovanligt stor och inkluderar en topp på morgonen och på eftermiddagen för att tydligt illustrera hur effekttoppar optimeras för i de olika fallen. Solproduktionen är prognostiserad med metoden som använder data från Open-Meteo. Batteriet samt V2X-instansen har i fallen givits parametrar som visas i tabellerna 3.2 och 3.3.

Skillnaden mellan de olika fallen är optimeringens målfunktion. Målfunktionerna för fallen syns i tabell 3.4 där fall 1 är utan optimering, fall 2-4 är från originella EMHASS och fall 5 är effekttariff-implementeringen från projektet. I fall 1 identifieras kostnaderna för en dags elförbrukning utan att optimering skett. Bilen med V2X-funktionaliteten kommer att laddas till högsta tillåtna SOC när den kopplas in

i hushållet för att sedan inte använda denna energi fören bilen lämnar dagen efter. Batteriet hålls vid konstant laddning i fall 1, men för elbilen adderas en last på 5714 W mellan kl 17:00-18:00 då detta är så mycket den förväntas behöva laddas utifrån värdena i tabell 3.3. I fall 2-4 testas EMHASS ursprungliga optimeringar med målfunktionerna *Vinst*, *Kostnad* och *Självkonsumtion*. I fall 5 används optimeringsmodellen *Effekttoppar* anpassad för att minska effekttoppen på dagen. Fall 2-4 nedan använder sig endast av överföringskostnaden i optimeringen, men vid kostnadsberäkningarna räknas alla tre kostnaderna. Beräkningarna för elkostnaden för alla fallen är gjorda enligt Ellevios elnätsavgift som beskrivs ovan.

Tabell 3.2: Batteriets parametrar i fallen.

Maximala urladdningseffekt	12 kW
Maximala laddningseffekt	12 kW
Verkningsgrad vid urladdning	96%
Verkningsgrad vid laddning	98%
Nominella lagringskapacitet	12 kWh
Lägsta tillåtna SOC	30%
Högsta tillåtna SOC	80%
Önskat SOC	80%

Tabell 3.3: V2X-instansens parametrar i fallen.

Maximala urladdningseffekt	10 kW
Maximala laddningseffekt	10 kW
Verkningsgrad vid urladdning	96%
Verkningsgrad vid laddning	98%
Nominella lagringskapacitet	40 kWh
Lägsta tillåtna SOC	10%
Högsta tillåtna SOC	90%
Önskat SOC vid avfärd	80%
Avfärd från mikronät	08:00
Ankomst till mikronät	17:00
Använd laddning under färd	14%

Tabell 3.4: Definerings av målfunktioner för de olika fallen.

Fall nummer	Målfunktion
1	Ingen
2	Vinst
3	Kostnad
4	Självkonsumtion
5	Effekttoppar

3.6 Implementering i hushåll och styrning av enheter

Implementering i hushåll testades först genom att utföra installeringsprocessen av EMHASS på både den ursprungliga HA-instansen, samt den givna instansen i Helsingborg, tillgodosedd av Orust Engineering. Sedan testades styrning av enheter för implementering i hushåll på den ursprungliga HA-instansen. Detta utfördes genom att skapa automationer i HA som utförde en optimering vid midnatt. Efter utförd optimering finns det redan en inbyggd funktion i originella versionen av EMHASS som sparar värden automatiskt till sensorer. Utifrån dessa skapades en ny automation, där enheter styrs utifrån variablerna i sensorerna. Som testenhet användes en smart-lampa i den ursprungliga HA-instansen. Tester utfördes även i Helsingborg-instansen.

4

Resultat

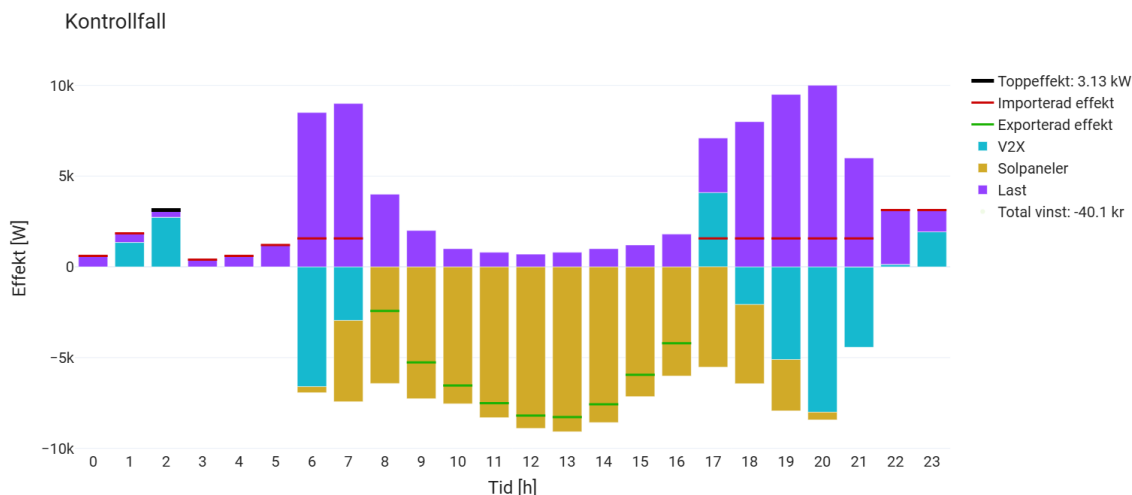
Detta kapitel presenterar energioptimeringar för de fem fall som beskrivs i avsnitt 3.5. Utöver dessa inkluderas ett kontrollfall med tariffoptimering utan ett konventionellt batteri, i syfte att isolera de utvecklade funktionerna.

4.1 Generell förklaring av figurer och grafer

De figurer som presenteras nedan representerar hur hushållets mikronät hanterar elförbrukning, produktion och lagring under ett dygn. I graferna kommer staplarna representera effektflöden från olika komponenter i mikronätet. De positiva staplarna visar effekt som förbrukas från respektive källa medan negativa staplar visar att effekt tillförs till hushållet eller exporteras till nätet. Röda och gröna linjer visar exakt hur mycket av effekten som importeras och exporteras från elnätet. Lagringsbatteriet och elbilen med V2X-funktion visas när de laddas och urladdas i grön respektive blå stapel. I gul stapel visas solpanelernas energiproduktion. Den totala kostnaden för alla fallen som presenteras här beräknats med ekvation 3.1, med kostnadskonstanterna presenterade i avsnitt 3.5. Samtliga optimeringar utfördes för den 27:e april 2025.

4.2 Kontroll av tariff- och V2X-implementering

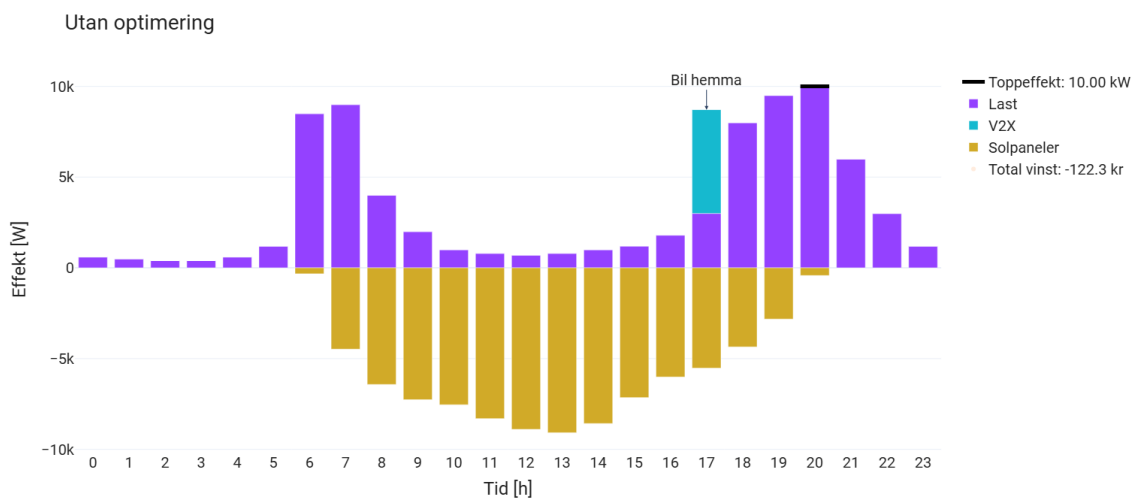
I figur 4.1 syns det att lasten under flera timmar på dygnet är mellan 7–10 kWh men att effekttoppen är 3.13 kW. Figuren visar även att toppeffekten för den importerade energin nås vid tre tillfällen: 02:00, 22:00 samt 23:00.



Figur 4.1: Graf över resultaten från kontrollfallet.

4.3 Fall 1 - Ingen optimering

I detta referensfall har ingen optimering tillämpats. Lastprofilen och solcellsproduktionen presenteras utan påverkan av batteri eller V2X-funktion. För att inkludera elbilsaddningen har en extra last på 5714 W adderats mellan 17:00-18:00, vilket motsvarar hemkomst från arbete.

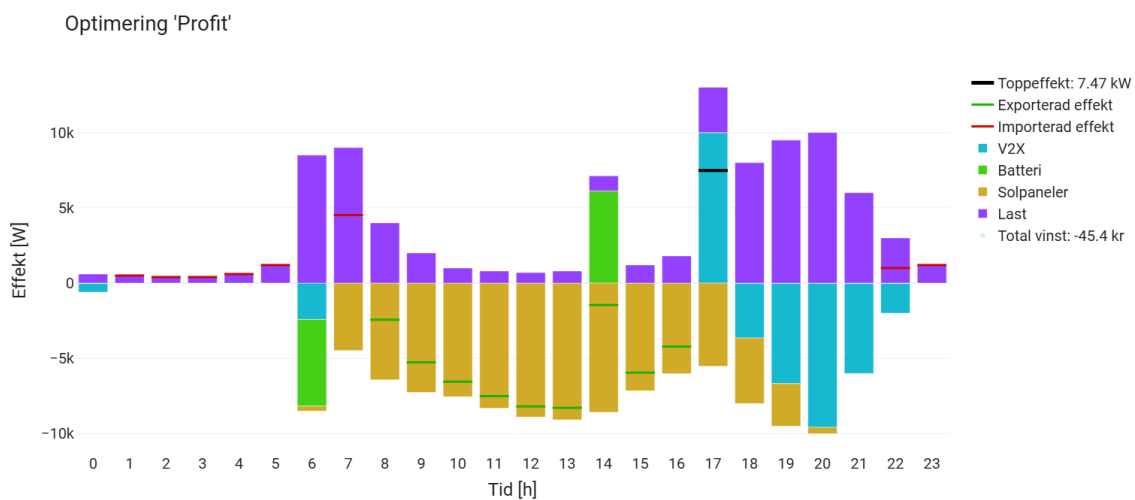


Figur 4.2: Resultat för fall 1.

I figur 4.2 uppgår effekttoppen till 10 kW. Solproduktionen är hög mellan 07-19:00, men som högst 13:00 med en effekttopp på cirka 8 kW. Totala vinsten för dagen blir -122.3 kr. Förbrukningen av el för lasten är högst perioden 06-7:00 och 17-20:00.

4.4 Fall 2 - *Vinst*

I detta scenario används EMHASS ursprungliga optimeringsmodell med målfunktionen *Vinst*, vilket syftar till att maximera ekonomisk vinst enligt avsnitt 2.4.3. Endast överföringskostnaden används i optimeringen (se ekvation 2.2) medan i kostnadsberäkningarna inkluderas alla tre kostnaderna, se avsnitt 3.5. Elkostnaden är beräknad enligt Ellevios elnätsavgift.

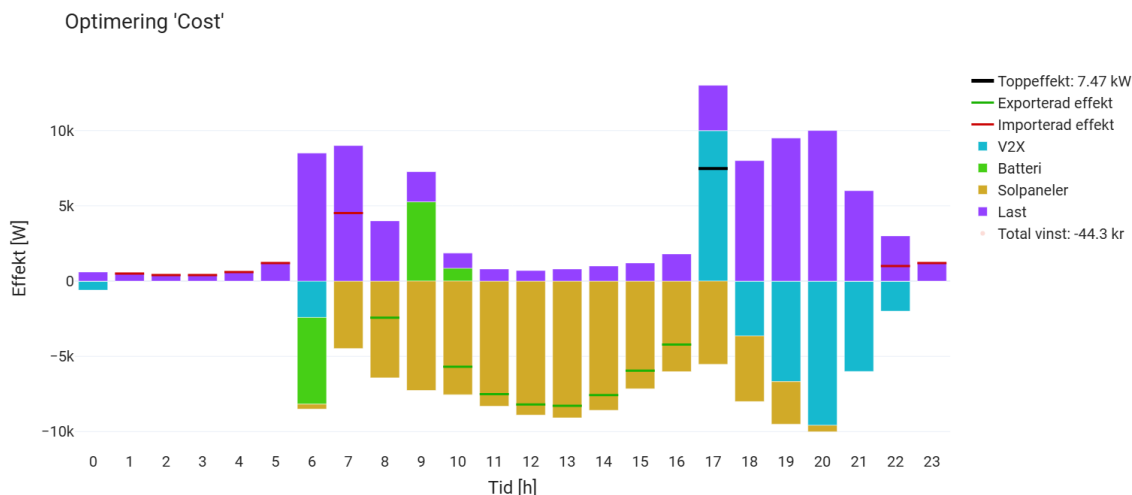


Figur 4.3: Resultat av optimering med EMHASS tidigare målfunktion *Vinst*.

Utöver solproduktionen och lastens graf som redovisades i figur 4.2 laddades elbilen tydligt 17:00, medan urladdning skedde 6:00 samt 18-22:00. Batteriet utför urladdning vid 06:00, samt laddning 14:00. Mellan 08-16:00 produceras mer el än vad hushållet konsumerar, vilket gör att överskotts el exporteras till nätet. Vid 06:00 används V2X och batteriet samt vid 18-21:00 används V2X för att täcka lasten genom att ladda ur, detta för att undvika att importera för mycket el från nätet. Maximal konsumerad el uppnåddes 20:00 medan nettoeffekttoppen var 17:00, med en toppeffekt på 7,47 kW. Den totala vinsten för dagen är -45.4 SEK.

4.5 Fall 3 - *Kostnad*

I detta fall används EMHASS ursprungliga optimeringsmodell med målfunktionen *Kostnad*, vilket syftar till att minimera den totala elkostnaden för hushållet enligt avsnitt 2.4.3. Endast överföringskostnaden används i optimeringen (se ekvation 2.3) medan i kostnadsberäkningarna inkluderas alla tre kostnaderna, se 3.5. Elkostnaderna är beräknade enligt Ellevios elnätsavgift.

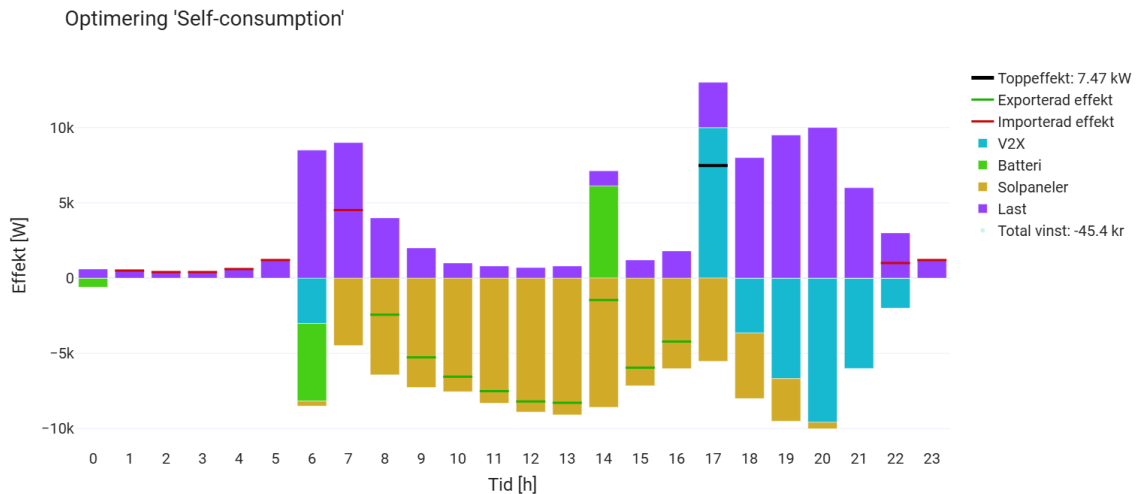


Figur 4.4: Resultat av optimering med EMHASS originella målfunktion *Kostnad*.

Utöver solproduktionen och lastens graf som redovisades i 4.2 laddades elbilen tydligt 17:00, medan urladdning ägde rum 00:00, 06:00 och under perioden 18-22:00. Batteriet används aktivt 06:00, medan laddning sker under perioden 09-10:00. Det exporteras effekt 08:00 och 10-16:00, medan det importeras effekt 01-05:00, 07:00, 17:00 och 22-23:00. Maximal konsumerad el uppnåddes 20:00 men kompenseras av V2X-instansen. Nettoeffekttoppen var 17:00 på 7.47 kW. Den totala vinsten för dagen är -44.3 SEK.

4.6 Fall 4 - *Självkonsumtion*

I detta scenario används EMHASS ursprungliga optimeringsmodell med målfunktionen *Självkonsumtion*, vilket fokuserar på att maximera lokal förbrukning av egenproducerad el enligt avsnitt 2.4.3. Endast överföringskostnaden används i optimeringen (se ekvation 2.4) medan i kostnadsberäkningarna inkluderas alla tre kostnaderna, se avsnitt 3.5. Elkostnaden är gjorda enligt Ellevios elnätsavgift.

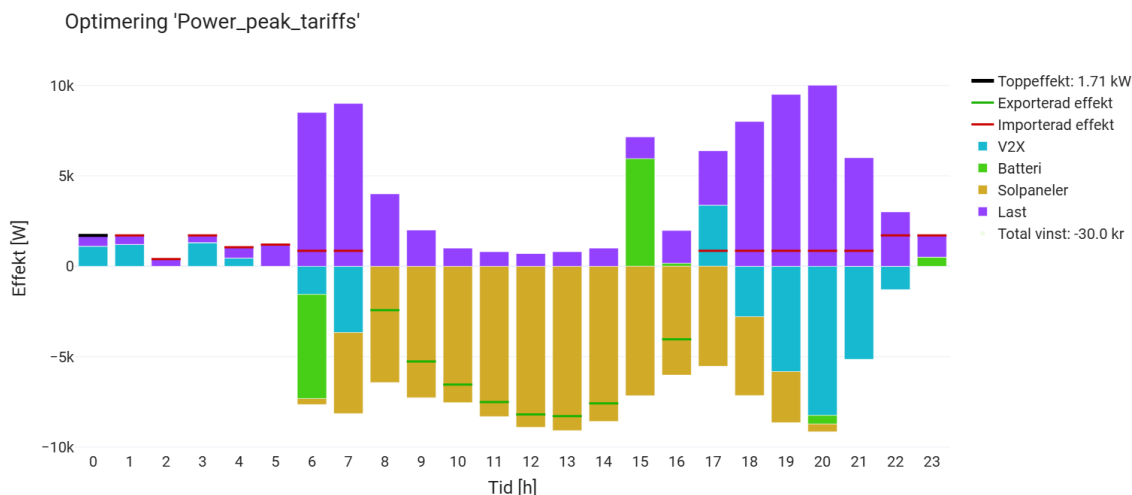


Figur 4.5: Resultat av optimering med EMHASS originella målfunktion *Självkonsumtion*.

Utöver solproduktionen och lastens graf som redovisades i 4.2 laddades elbilen tydligt klockan 17:00, medan urladdning skedde 06:00 och under perioden 18-22:00. Batteriet urladdas klockan 00:00 och 06:00, medan laddning endast sker 14:00. Det exporteras effekt under perioden 08-16:00, medan det importerar effekt 01-05:00, 07:00 och 22-23:00. Maximal hushållsförbrukning av el uppnåddes 20:00 men kompenseras av lagrad energi. Den högsta nettoeffekten med en toppeffekt på 7,47 kW är vid 17:00. Den totala vinsten för dagen är -45.4 SEK.

4.7 Fall 5 - *Effektoppar*

I detta fallet tillämpar EMHASS den nya målfunktionen *Effektoppar* för optimering, vilket fokuserar på att sänka effektopparna och sprida ut energianvändningen. Målfunktionen definierad i ekvation 3.1 användes för optimeringen och i kostnadsberäkningarna inkluderas alla tre kostnaderna, se 3.5. Elkostnaden är beräknad utifrån Ellevios elnätsavgift.



Figur 4.6: Resultat av optimering med den nya målfunktionen *Effektoppar*.

Utifrån solproduktionen och lastens graf som redovisades i figur 4.2 laddas elbilen 00-01:00, 03-04:00 och 17:00, medan V2X användes under perioden 06-07:00 samt 18-22:00. Batteriet används 06:00, 20:00, medan laddning sker 15-16:00 och 23:00. Det exporteras effekt mellan 08-14:00 och 16:00, medan det importeras minimalt med effekt under resterande timmar. Maximal konsumerad el uppnåddes 20:00 medan nettoeffekten i hushållet hade en toppeffekt på 1.71 kW vid 00:00, vilket ligger inom Ellevios fönster för topphalvering. Den totala vinsten för dagen är -30.0 SEK.

4.8 Kostnadsöversikt

Formeln i 3.1 väger spotpriser, import/export, nätkostnader och effektavgifter samman för att beräkna hushållets elkostnad. Tabell 4.1 innehåller en sammanställning av hushållets elkostnader för respektive fall.

Tabell 4.1: En översikt av vinsterna per dag för respektive optimeringsfall.

Optimeringsfall	Vinst [SEK]	Vinst relativt basfall [SEK]
Fall 1 (Basfall)	-122.3	0
Fall 2	-45.4	+76.9
Fall 3	-44.3	+78.0
Fall 4	-45.4	+76.9
Fall 5	-30.0	+92.3

I tabell 4.1 tolkas resultaten i förhållande till ett basfall (Fall 1) som fungerar som referens. Ett positivt värde innebär en förbättring, en högre vinst jämfört med basfallet. Högst vinst jämfört med basfallet har Fall 5 som optimerade efter *Effekttoppar*, och lägst vinst efter basfallet hade Fall 2 och 4 som optimerade efter *Vinst* respektive *Självkonsumtion*.

4.9 Implementering i hushåll

Som tidigare nämnt testades optimeringarna praktiskt på ett säkert sätt genom att använda optimeringsresultaten för att styra en smart-lampa. Från styrningen var det tydligt att lampan stängdes på och av vid rätt tidpunkter som bestämdes utifrån optimeringen. De variabler från optimeringen som användes i detta fall var de som är menade för att styra elanvändning av flyttbara laster. Processen som HA utförde detta på sparade dock inte datan för när lampan faktiskt stängdes på och av, utan verifiering av automationerna utfördes genom att verifiera lampans beteende i verkligheten vid de aktuella tidpunkterna. I hushållet i Helsingborg utfördes optimeringar utifrån målfunktionen *Effekttoppar*, däremot så styrdes inte hushållets komponenter utifrån optimeringsresultaten då HA-instansen bedömdes för instabil.

5

Diskussion

I detta kapitel analyseras resultatet av de olika fallen. Förutom detta presenteras det även reflektioner kring projektet med fokus på felkällor och förbättringsmöjligheter.

5.1 Analys av fallens resultat

I denna studie analyseras ett kontrollfall och fem olika scenarier för energihantering i ett hushåll med solceller, stationärt batteri och elbil med V2X-funktion. Fall 1 fungerade som referens utan någon optimering, medan fall 2 till 5 optimerades för olika målfunktioner som hög ekonomisk vinst (*Vinst*), låg ekonomisk kostnad (*Kostnad*), hög självkonsumtion (*Självkonsumtion*) och låg effekttopp (*Effekttoppar*).

Gemensamt för alla scenarier är att de utgår från samma förutsättningar, ett hushåll med samma dagsförbrukning, solproduktion, samt tillgång till stationärt batteri och elbil med definierade laddningsfönster och SOC-krav.

5.1.1 Analys av kontrollfallet

Kontrollfallet hade syftet att bekräfta V2X-implementeringen samt att målfunktionen *Effekttoppar* fungerar. V2X-implementeringen skulle fungera som ett batteri i optimeringen med tillagd anpassning för att ha önskad SOC vid avfärd. Figur 4.1 visar med både positiva och negativa blåa staplar att V2X-implementeringen kan användas i effekttoppsoptimeringen för att föra över el till hushållet, samt att V2X-implementeringen fyller sin batterinivå till önskad nivå innan avfärd. Kontrollfallet visar också att målfunktionen *Effekttoppar* sänker effekttopparna på dygnet. Utifrån de tre tider där toppeffekten nås ser det ut som optimeringen förstår att effekttariffkostnaden baseras på en högsta topp på dagen och kan därför ha flera toppar med samma effekt. Figur 4.2 visar även att optimeringen tar hänsyn till Ellevios effekttoppsrabatt som ligger mellan 22-06:00. Kontrollfallet visar att både V2X-implementeringen och målfunktionen *Effekttoppar* har önskad funktion i EM-HASS.

5.1.2 Jämförelse av samtliga Fall

I samtliga fall används solenergi dagtid och batterierna laddas under lågpristimmarna från figur 3.8 och urladdas under de dyra timmarna medan styrningen av detta påverkas av de olika målfunktionerna.

Fall 1 fungerar som referens utan optimering, vilket leder till en hög effekttopp på 10 kW. I fall 2 maximeras vinsten genom att importera när importpriset är lågt, och exportera när exportpriset är högt. Bilen laddas kraftigt vid låga importpriser, vilket skapar en topp på 7,47 kW. Fall 3 minimerar kostnader genom att undvika dyra timmar och exporterar bara vid överskott. Fall 4 maximerar självkonsumtion och laddar batteriet under lågpristid för att undvika dyr import från elnätet. Fall 5 minskar effekttoppen genom att sprida ut laddningen, vilket effektivt sänker effektavgiftskostnaden. Modellen visar på tydlig smart styrning efter hushållets konsumtion för att minimera effekttoppar.

Utifrån tabell 4.1 framgår att den största besparingen erhålls i Fall 5, där målfunktionen *Effekttoppar* används. Besparingarna i fall 5 uppgick då till 14.3 SEK jämfört med fall 3 som var det bästa av de övriga fallen. Över ett år motsvarar detta cirka 5223 SEK, eller 52230 SEK över en period på tio år. Även om resultaten bygger på en enskild dag och därmed inte möjliggör exakta prognoser över längre tid, illustrerar detta tydligt vilken ekonomisk potential tariffoptimering har. De stora besparingarna är inte oväntade, då de övriga optimeringsfallen endast tar hänsyn till rörliga kostnader. Sådana optimeringar är tillräckliga innan tariffkostnader för effekttoppar införs, men blir otillräcklig när dessa inkluderas. Utan kännedom om att höga effekttoppar bestraffas, kan modellen exempelvis välja att importera mycket energi vid låga spotpriser i hopp om att exportera denna till högre pris senare.

5.1.3 Diskussion utifrån tidigare studier

Resultatet från fall 5 visar att optimeringen ger låga effektuttag från elnätet. Dessutom blir effektflödet från elnätet jämnare jämfört med övriga optimeringsstrategier, vilket bidrar till en ökad stabilitet i det svenska elsystemet. Eftersom Energimarknadsinspektionens (Ei) syfte med effekttarifferna är att just främja nätstabilitet, tyder resultaten på att dessa tariffer fungerar enligt intentionen.

I samtliga optimeringsfall urladdas elbilens batteri och lagringsbatteri till låga nivåer under kvällstimmar, detta riskerar att påverka batteriets hälsa negativt. Projektet tar inte heller hänsyn till C-rate eller värmeutveckling vid laddning som är centralt för batteriets hälsa som Wikner m.fl skriver i sin rapport om batterier och dess hälsa. Resultaten visar även en hög grad av export under soliga timmar, vilket i teorin kan leda till lokal överbelastning på elnätet om många hushåll skulle agera likadant. Qais m.fl skriver att just för sådana här tillfällen krävs samordning och styrning av många småskaliga system för att undvika spänningsvariationer och nätförluster.

5.2 Implementering i Hushåll

Implementeringen av den nya versionen av EMHASS i ett hushåll var lyckad då det som tidigare nämnts installerades och testades på en anläggning i Helsingborg där EMHASS-optimeringen med målfunktionen *Effekttoppar* lyckades, däremot så styrdes aldrig hushållet med optimeringsresultaten. Motgångar kom i form av att

HA-instansen var väldigt instabil, då både processorn och ram minnet på hårdvaran ofta blev överbelastad. Detta beror dock inte på projektets version av EMHASS utan uppstod från andra tillägg på instansen. Instabiliteten är problematisk för en eventuell styrning av enheter från optimeringar utförda av EMHASS, detta då styrnings systemet i så fall skulle förlita sig på optimeringar som kanske aldrig utfördes på grund av överbelastning. På grund av detta samt tidsbristen för projektet, valdes det att inte utföra någon styrning av batterier och laster, detta trots att det anses är fullt möjligt att utföra. Den lyckade styrning av smart-lampan visar att styrning är möjlig vid rätt förutsättningar.

Att i verkligheten göra ett mikronät med de komponenter som fallen består av är tekniskt komplext. Det förutsätter att växelomriktaren fungerar utan större energiförluster och har en fullständig nätintegration. Energimyndigheten påpekar att dessa system kräver avancerad teknik för nätstöd och synkronisering och har höga säkerhetsföreskrifter vilket kan vara komplicerat för gemene man. Dessa komplikationer måste man ta i åtanke om man skulle vilja implementera detta i ett framtida hushåll. När det gäller V2X finns det också tekniska hinder för implementering samt att standardisering och säkerhet ännu är under utveckling. I detta resultat antas alltid att bilen är tillgänglig klockan 08:00 och följer ett förutsägbart schema, men i verkligheten är användningen troligtvis mer oregelbunden.

5.3 Förbättringsmöjligheter

På grund av tidsbegränsningar krävdes flera avgränsningar under projektets gång. I detta avsnitt presenteras möjliga vidareutvecklingar av lösningen som kan bidra till mer robusta och verklighetstrogna optimeringar.

5.3.1 Frekvensreglering

En potentiell förbättring är att integrera en ytterligare sensor i konfigurationen för att möjliggöra frekvensreglering mot elnätet. Detta skulle kunna underlätta för systemet att ingå i stödtjänstmarknaden, vilket i sin tur kan öka intresset för tekniken hos hushåll. Ett sådant bidrag till nätstabilitet skulle göra tekniken mer attraktiv ur ett samhällsperspektiv, men skulle samtidigt medföra en mer komplex installation i hemmet. Det kan också kräva ytterligare certifieringar för att uppfylla gällande lagstiftning och tekniska krav.

Till skillnad från ellexport ger frekvensreglering ersättning inte bara vid faktisk elleverans, utan även för tillgänglighet att reglera effekt vid behov. Detta kan öka hushållets intäkter. Dock kan den ökade frekvensen av laddnings- och urladdningscykler påverka batteriernas livslängd, särskilt i system som inkluderar fordon med V2X-teknik. Med rätt begränsningar och styrstrategier kan slitaget dock hållas på en låg nivå, samtidigt som intäkterna maximeras.

5.3.2 V2X

Den nuvarande implementationen av V2X bygger på manuell inmatning av parametrar. Det är dock inte säkert att användaren alltid vet exakt vilka tider bilen kommer vara hemma under morgondagen, än mindre hur mycket laddning som kommer förbrukas när bilen är borta. Dessutom kan det upplevas som tidskrävande att behöva manuellt skriva in dessa värden varje dag. Ett mer användarvänligt alternativ vore att införa ett automatiserat system baserat på maskininlärning. Genom att analysera historisk användardata skulle modellen kunna förutsäga när bilen förväntas vara borta och uppskatta energiförbrukningen. För att öka robustheten skulle denna prognos kunna kombineras med manuella restriktioner, exempelvis om användaren i förväg vet att bilen kommer användas på ett ovanligt sätt.

Som beskrivs i avsnitt 3.4.2 adderas det för V2X-funktionen på en kostnad beroende på hur mycket lägre batteriladdningen är vid dagens slut jämfört med maxnivån. Denna kostnad beräknas som "kostnaden att ladda till max nästa morgon", baserat på dagens elpriser. Problemet är att endast rörliga priser beaktas, inte tariffkostnader, vilket kan leda till att bilen laddas ur på kvällen trots att detta ökar nästkommande dags effekttopp. Dessutom kan elpriser variera kraftigt mellan dagar, vilket gör uppskattningen osäker. En lösning vore att köra optimeringen för två dagar åt gången så att modellen kan ta hänsyn till nästnasta dags toppar och behov. Detta kräver dock elprisdata för två dagar framåt, vilket Nord Pool inte tillhandahåller. En prognos gjord med en maskininlärningsmodell, som nämnts i avsnitt 2.4.2, skulle kunna användas, men förutsätter träning och konfiguration. För ökad användarvänlighet skulle detta kunna aktiveras via konfigurationssidan.

5.3.3 Effekttariffer

För att modellen bättre ska spegla verkligheten i enlighet med effekttarifferna kan variabler införas som representerar månadens hittills högsta effekttoppar, vilka uppdateras löpande utifrån tidigare optimeringsresultat. Målfunktionen skulle i så fall endast inkludera tariffkostnad när den aktuella effekten överskrider någon av de tre befintliga topparna. En sådan modell skulle dessutom behöva en mekanism för att retroaktivt justera månadens effekttoppar, i de fall optimeringen inte lyckas förutse en faktisk ny topp som överskrider de tidigare.

En förbättringspunkt är att projektet simulerades mot modellerade tariffstrukturer och spotpriser men inte mot faktiska uppkopplingar mot elnäts eller elhandelsföretags system. De använda avgifterna exkluderar dessutom några relevanta faktorer, exempelvis skatteåterbäringen man får av mikroproduktion av förnybar el, och att olika elhandelsbolag har olika sätt att beräkna exportpris.

I rapporten används naiva prognosmetoder samt dygnsvis förhandsoptimering. Det finns dock mer avancerade metoder tillgängliga i EMHASS som hade kunnat användas i stället, vilket potentiellt hade kunnat ge andra resultat. Samtliga simuleringar

är dessutom baserade på en enstaka dag, vilket begränsar generaliserbarheten. Faktorer som årstid har en betydande inverkan på både solproduktion och lastprofil, vilket kan leda till avsevärt annorlunda utfall vid andra tidpunkter på året.

6

Slutsats

I denna del av rapporten presenteras de slutsatser som gruppen gjort utifrån de resultaten som presenterats tidigare, med särskild hänsyn till projektets uppsatta mål.

Implementeringen av en V2X-funktion anses som lyckad då en ny variabel introducerades samt användes av optimeringsmodellerna. Den nuvarande implementeringen är ej komplett, då till exempel bilen vid färd för tillfället endast har en fast och väldigt enkel påverkan. Sammanfattningsvis kan slutsatsen dras att V2X lösningen som den är implementerad just nu, fungerar och effektivt kan nyttjas för att optimera laddning och urladdning utifrån hushållets behov.

Målet av att utveckla en optimeringsmodell skräddarsydd för att hantera de nya effekttariff-abonnemangen anses som åstadkommet. Den utvecklade optimeringsmodellen vars resultat presenterats tidigare i fall 5, är ett effektivt sätt för användare att optimera sin elförbrukning med hänsyn till de effekttariff-abonnemangen som finns idag. Trots de begränsade antalet tester som utförts, framgår det tydligt utifrån resultaten att den nya optimeringsmodellen är ett klart mycket bättre alternativ för att minimera effekttoppar. Modellen har dock som tidigare nämnt vissa brister, men är precis som resten av EMHASS, fullt modulär, vilket gör att detta är något som användare har möjlighet att vidareutveckla i framtiden. Sammanfattningsvis anser vi tariff-implementeringen vara lyckad.

Bibliografi

- [1] International Energy Agency. “World Energy Outlook 2023”. World Energy Outlook, årg. 25, 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [2] International Energy Agency. “World Energy Outlook 2022”. World Energy Outlook, årg. 24, kap 3, 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [3] International Energy Agency. “World Energy Outlook 2024”. World Energy Outlook, årg. 26, s. 2, 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [4] Världsnaturfonden WWF. “Varför är det ett så högt elpris?” 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.wwf.se/energi/elpriser/>. (Hämtad: 2025-04-24).
- [5] P. Blomqvist, E. Nyholm, J. Kjellander och M. Odenberger. “Elnätens prismodeller”. Energiforsk, Stockholm, Sverige, rapport 2024:1049, 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://energiforsk.se/media/33761/2024-1049-elna-tens-prismodeller.pdf>. (Hämtad: 2025-04-24).
- [6] L. Chandra och S. Chanana, “Energy Management of Smart Homes with Energy Storage, Rooftop PV and Electric Vehicle”, i *2018 IEEE International Students’ Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, 2018, s. 1–6. DOI: 10.1109/SCEECS.2018.8546857.
- [7] J. Tomić och W. Kempton, “Using fleets of electric-drive vehicles for grid support”, *Journal of Power Sources*, årg. 168, nr 2, s. 459–468, 2007. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2007.03.010.
- [8] Z. Xia, P. Li, Y. Ji, Z. Shen och G. Wang, “Optimal configuration of grid-connected microgrid considering real-time electricity price”, i *2021 IEEE 5th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, 2021, s. 4404–4410. DOI: 10.1109/EI252483.2021.9712986.
- [9] H. T. Dinh, J. Yun, D. M. Kim, K.-H. Lee och D. Kim, “A home energy management system with renewable energy and energy storage utilizing main grid and electricity selling”, *IEEE Access*, årg. 8, s. 49 436–49 450, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2979189.
- [10] Home Assistant Developers. “Home Assistant Core - Open-source home automation”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://github.com/home-assistant/core>. (Hämtad: 2025-04-23).

- [11] D. Hernandez. “Energy management for Home Assistant (EMHASS)”. emhass.readthedocs.io. [Online]. 2025. Tillgänglig: <https://emhass.readthedocs.io/en/latest/>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [12] Energimarknadsinspektionen. “Varför inför elnätsföretagen en ny prismodell med effektavgift - vad innebär det för dig som elanvändare?” 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://ei.se/om-oss/nyheter/2024/2024-10-25-varfor-infor-elnatsforetagen-en-ny-prismodell-med-effektavgift---vad-innebar-det-for-dig-som-elanvandare>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [13] karnavfallsradet. “Utmaningar och möjligheter med decentraliserad energiproduktion”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://karnavfallsradet.se/utmaningar-och-mojligheter-med-decentraliserad-energiproduktion/>. (Hämtad: 2025-04-28).
- [14] N. S. Pearre och H. Ribberink, “Review of research on V2X technologies, strategies, and operations”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, årg. 105, s. 61–70, 2019, ISSN: 1364-0321. DOI: 10.1016/j.rser.2019.01.047.
- [15] A. Ahmed och N. Etherden, “The potential for balancing the Swedish power grid with residential home batteries”, i *IET Conference Proceedings*, vol. 2021, 2021, s. 2104–2108. DOI: 10.1049/icp.2021.1613.
- [16] Konsumenternas Energimarknadsbyrå. “Normal elförbrukning och elkostnad för villa”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-villa/>. (Hämtad: 2025-05-03).
- [17] Energimyndigheten. “Elavtal”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://ei.se/konsument/el/elavtal>. (Hämtad: 2025-05-03).
- [18] Vattenfall AB. “Vad består min elkostnad av?” 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/fokus/tips-rad/vad-bestar-elkostnad-av/>. (Hämtad: 2025-05-08).
- [19] Svenska kraftnät. “Elområden”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/elomraden/>. (Hämtad: 2025-04-28).
- [20] Konsumenternas Energimarknadsbyrå. “Energiskatt - skattesatser och kostnader”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elrakningen/energiskatt-skattesatser-och-kostnader/>. (Hämtad: 2025-05-03).
- [21] Energimyndigheten. “Olika avtalstyper”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://ei.se/konsument/el/elavtal/olika-avtalstyper>. (Hämtad: 2025-05-03).
- [22] E.on. “Produktionsavtal för mikroproducent - sälj din el till oss”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.eon.se/el/elavtal/produktionsavtal>. (Hämtad: 2025-05-03).
- [23] Energimarknadsinspektionen. “Elnätsavtal med effektavgift”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://ei.se/konsument/anvand-el-smartare/elnatsavtal-med-effektavgift>. (Hämtad: 2025-04-28).

-
- [24] Ellevio. “Ny prismodell baserad på effekt”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.ellevio.se/abonnemang/ny-prismodell-baserad-pa-effekt/>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [25] Göteborg Energi Elnät. “Nu kan du välja tidsindelad elnätsavgift”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.goteborgenergi.se/privat/elnat/nya-elnaetsavgiftsmodellen>. (Hämtad: 2025-04-28).
- [26] Göteborg Energi Elnät. “Elnätsavgiften”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.goteborgenergi.se/privat/elnat/elnaetsavgiften>. (Hämtad: 2025-05-03).
- [27] B. Postovoyt, D. Susoeff, D. Daghas, J. Holt, C. P. Pomona och H. T. Le, “A Solar-Based Stand-Alone Family House for Energy Independence and Efficiency”, i *2020 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 2020, s. 1–6. DOI: 10.1109/SusTech47890.2020.9150500.
- [28] Energimyndigheten. “Välj en anläggning som passar dina behov”. 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.energimyndigheten.se/effektiv-energianvandning/guider/solelportalen/hur-stor-anlaggning-passar-mig/valj-en-anlaggning-som-passar-dina-behov/>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [29] A. El-Shahat, R. J. Haddad, J. Courson, A. Martenson och A. Mosley, “Solar-Powered House System Design”, i *2019 SoutheastCon*, 2019, s. 1–4. DOI: 10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020465.
- [30] Skatteverket. “Mikroproduktion av förnybar el – privatbostad”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.skatteverket.se/privat/fastigheterochbostad/mikroproduktionavfornybarelprivatbostad.4.12815e4f14a62bc048f41a7.html>. (Hämtad: 2025-05-13).
- [31] Solsystem. “Hur stort batteri till solceller”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.solsystem.com/batteri/till-solceller/hur-stort-batteri/>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [32] E. Wikner, E. Björklund, J. Fridner, D. Brandell och T. Thiringer, “How the utilised SOC window in commercial Li-ion pouch cells influence battery ageing”, *Journal of Power Sources Advances*, årg. 8, s. 1–8, 2021. DOI: 10.1016/j.powera.2021.100054.
- [33] M. Qais, D. Kirli, E. Moroshko, A. Kiprakis och S. Tsaftaris, “A virtual power plant for coordinating batteries and EVs of distributed zero-energy houses considering the distribution system constraints”, *Journal of Energy Storage*, årg. 106, s. 1–12, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.114905>.
- [34] Sustainable Energy Action Committee (SEAC). “Energy Storage-Ready Concepts for Residential Design and Construction”. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://sustainableenergyaction.org/resources/energy-storage-ready-concepts-residential-design-construction/>. (Hämtad: 2025-04-29).

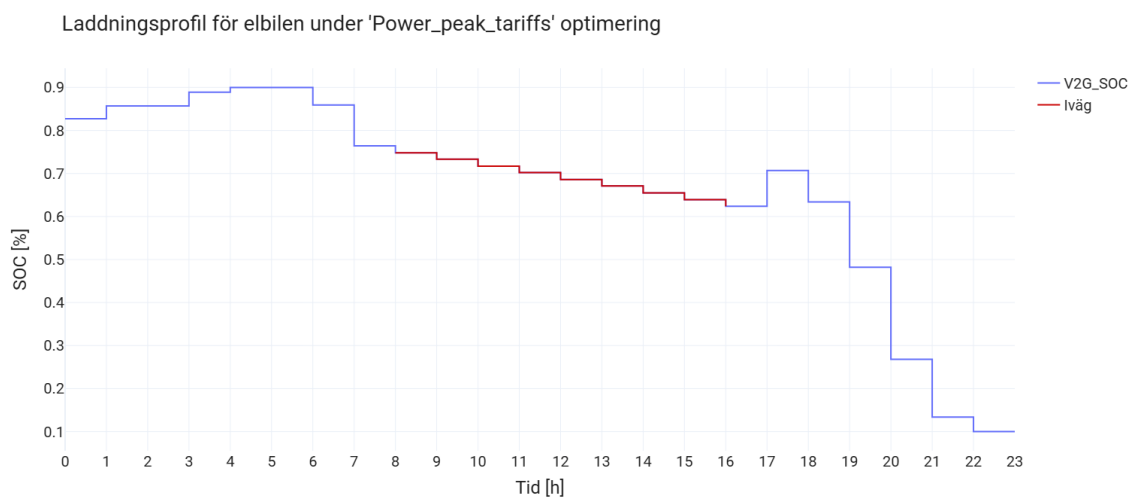
- [35] K. Karlsson och J. Widén, “Hushållens elanvändningsmönster identifierade i vardagens aktiviteter”, Linköpings universitet, Linköping, Sverige, tekn. rapport Rapport 330, 2008, [Online]. Tillgänglig: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-44528>.
- [36] O. Izquierdo-Monge, A. Z. V. Bonilla, M. Lafuente-Cacho, P. Peña-Carro och Á. Hernández-Jiménez, “Performance and energy consumption of electric vehicles used in microgrid management: Analysis of the real impact of ambient temperature”, *Journal of Power Sources*, årg. 635, s. 1–7, 2025. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2025.236511.
- [37] S. L. Locke, “Household characteristics and electric vehicle adoption: changes from 2017 to 2022”, *Applied Economics Letters*, s. 1–4, 2024. DOI: 10.1080/13504851.2024.2386149.
- [38] Vattenfall Eldistribution. “V2G – The Role of Mobile Energy Storages (V2G) in the Future Power System”. 2023. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfalleldistribution.se/cisionproxy/Main/16805/4082547/3173663.pdf>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [39] G. Xiao, H. Liu och J. Nabatalizadeh, “Optimal scheduling and energy management of a multi-energy microgrid with electric vehicles”, *Scientific Reports*, årg. 15, s. 1, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-88776-w.
- [40] Svenska kraftnät. “Om olika reserver”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/>. (Hämtad: 2025-04-27).
- [41] Svenska kraftnät. “Förkvalificering”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/forkvalificering/>. (Hämtad: 2025-04-27).
- [42] Vattenfall AB. “FCR – Få betalt för att bidra till ett stabilt elnät”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.vattenfall.se/foretag/miljo/klimatprodukter/fcr/>. (Hämtad: 2025-05-03).
- [43] Y. Hu, F. J. Bahamonde-Birke och D. Etema, “Vehicle-to-grid, why not? An interview with battery electric vehicle users with various driving patterns in Utrecht, the Netherlands”, *Transport Policy*, årg. 164, s. 231–240, 2025. DOI: 10.1016/j.tranpol.2025.02.009.
- [44] J. L. M. Yi, R. T. Naayagi och T. Logenthiran, “Modelling and Implementation of Single Phase Dual Stage Grid-Tied Solar Power Inverter”, i *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, Singapore, 2016, s. 1879–1883. DOI: 10.1109/TENCON.2016.7848371.
- [45] A. Mikhaylov, “An Overview of the Roles of Inverters and Converters in Microgrids”, i *Unified Vision for a Sustainable Future*, M. S. S. Danish, utg., Cham, Switzerland: Springer Nature, 2024, s. 69–85. DOI: 10.1007/978-3-031-53574-1_3.

-
- [46] Svenska kraftnät, “Lagring av el – omvärldsanalys”, Svenska kraftnät, Eskilstuna, Sverige, tekn. rapport Rapport 2773, 2022, [Online]. Tillgänglig: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2022/rapport-ru-energilager.pdf>.
- [47] Home Assistant. “Automation – Home Assistant Documentation”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.home-assistant.io/docs/automation/>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [48] Home Assistant. “Analytics – Home Assistant Documentation”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.home-assistant.io/integrations/analytics/>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [49] Home Assistant. “Concepts Terminology – Home Assistant Documentation”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.home-assistant.io/getting-started/concepts-terminology/>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [50] Home Assistant. “Sensor Entity | Home Assistant Developer Docs”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://developers.home-assistant.io/docs/core/entity/sensor/>. (Hämtad: 2025-04-29).
- [51] Home Assistant. “forecast_solar – Home Assistant Documentation”. 2025. [Online]. Tillgänglig: https://www.home-assistant.io/integrations/forecast_solar. (Hämtad: 2025-04-23).
- [52] Home Assistant. “shell_command – Home Assistant Documentation”. 2025. [Online]. Tillgänglig: https://www.home-assistant.io/integrations/shell_command/. (Hämtad: 2025-04-29).
- [53] Home Assistant. “Automation Basics – Home Assistant Documentation”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.home-assistant.io/docs/automation/basics/>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [54] Home Assistant. “Installing Third-Party Add-ons – Home Assistant Documentation.” 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.home-assistant.io/common-tasks/os#installing-third-party-add-ons>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [55] D. Hernandez. “EMHASS: Energy Management for Home Assistant”. emhass.readthedocs.io. [Online]. 2025. Tillgänglig: <https://github.com/davidusb-geek/emhass>. (Hämtad: 2025-05-13).
- [56] D. Hernandez. “Intro / Quick start”. emhass.readthedocs.io. [Online]. 2025. Tillgänglig: <https://emhass.readthedocs.io/en/latest/intro.html>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [57] D. Hernandez. “The forecast module”. [Online]. 2024. Tillgänglig: <https://emhass.readthedocs.io/en/latest/forecasts.html>. (Hämtad: 2025-04-28).
- [58] D. Hernandez. “EMHASS: Energy Management for Home Assistant”. GitHub. [Online]. 2024. Tillgänglig: <https://pypi.org/project/emhass/>. (Hämtad: 2025-05-12).

- [59] Open-Meteo. “Accurate Weather Forecasts for Any Location”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://open-meteo.com/>. (Hämtad: 2025-05-12).
- [60] D. Hernandez. “machine_learning_forecaster.py”. GitHub. [Online]. 2025. Tillgänglig: https://github.com/davidusb-geek/emhass/blob/master/src/emhass/machine_learning_forecaster.py. (Hämtad: 2025-05-12).
- [61] D. Hernandez. “An EMS based on Linear Programming”. emhass.readthedocs.io. [Online]. 2025. Tillgänglig: <https://emhass.readthedocs.io/en/latest/lpems.html>. (Hämtad: 2025-04-23).
- [62] R. Bourbon, S. U. Ngueveu, X. Roboam, B. Sareni, C. Turpin och D. Hernandez-Torres, “Energy management optimization of a smart wind power plant comparing heuristic and linear programming methods”, *Mathematics and Computers in Simulation*, årg. 158, s. 418–431, 2019, Presented at ELECTRIMACS 2017 – The International Conference on Modeling and Simulation of Electric Machines, Converters and Systems (IMACS TC 1). DOI: 10.1016/j.matcom.2018.09.022.
- [63] G. Comodi, A. Giantomassi, M. Severini m. fl., “Multi-apartment residential microgrid with electrical and thermal storage devices: Experimental analysis and simulation of energy management strategies”, *Applied Energy*, årg. 137, s. 854–866, 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.07.068.
- [64] C. Pajot, L. Morriet, S. Hodencq m. fl., “OMEGAAlpes: An Optimization Modeler as an Efficient Tool for Design and Operation for City Energy Stakeholders and Decision Makers”, i *Proc. 16th IBPSA Conf.*, Rome, Italy, sept. 2019, s. 2–4.
- [65] GitHub. “About GitHub and Git”. 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://docs.github.com/en/get-started/start-your-journey/about-github-and-git>. (Hämtad: 2025-05-12).
- [66] Docker. “What is Docker?” 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://docs.docker.com/get-started/docker-overview/>. (Hämtad: 2025-05-12).
- [67] D. Hernandez. “emhass-add-on”. GitHub. [Online]. 2025. Tillgänglig: <https://github.com/davidusb-geek/emhass-add-on>. (Hämtad: 2025-05-12).
- [68] D. Hernandez. “Example configurations”. [Online]. 2025. Tillgänglig: https://emhass.readthedocs.io/en/latest/study_case.html#. (Hämtad: 2025-05-13).
- [69] D. Hernandez. “EMHASS Development”. emhass.readthedocs.io. [Online]. 2025. Tillgänglig: <https://emhass.readthedocs.io/en/latest/develop.html>. (Hämtad: 2025-04-23).

A

Kompletterande figurer



Figur A.1: Laddningen av elbilen under optimeringen i case 5. Mellan kl 8:00 och kl 17:00 är bilen borta och förbrukar laddning som inte blir effekt till hushållet.

B

Rådata

Här presenteras rådatan för de olika optimeringsfallen som tagits upp. I brist av plats namngavs kolumnerna enligt: A: Tidssteg, B: Solpaneler [W], C: Last [W], D: Importerad effekt [W], E: Exporterad effekt [W], F: Batteri [W], G: Batteri SOC [%], H: V2X [W], I: V2X SOC [%], J: Importpris [SEK], K: Exportpris [SEK].

Tabell B.1: Rådata för kontrollfallet.

A	B	C	D	E	H	I	J	K
00:00	0	600	600	0	0	0.800	1.103	0.381
01:00	0	500	1847	0	-1347	0.833	1.078	0.361
02:00	0	400	3134	0	-2734	0.900	1.056	0.343
03:00	0	400	400	0	0	0.900	1.058	0.345
04:00	0	600	600	0	0	0.900	1.053	0.341
05:00	0	1200	1200	0	0	0.900	1.066	0.351
06:00	326	8500	1567	0	6606	0.728	1.111	0.387
07:00	4478	9000	1567	0	2954	0.651	1.077	0.360
08:00	6425	4000	0	-2425	0	0.635	0.911	0.227
09:00	7265	2000	0	-5265	0	0.620	0.646	0.015
10:00	7543	1000	0	-6543	0	0.604	0.612	-0.012
11:00	8309	800	0	-7509	0	0.589	0.574	-0.042
12:00	8898	700	0	-8198	0	0.573	0.498	-0.103
13:00	9082	800	0	-8282	0	0.558	0.426	-0.161
14:00	8577	1000	0	-7577	0	0.542	0.400	-0.182
15:00	7151	1200	0	-5951	0	0.527	0.515	-0.090
16:00	6014	1800	0	-4214	0	0.511	0.625	-0.002
17:00	5528	3000	1567	0	-4095	0.611	0.702	0.060
18:00	4355	8000	1567	0	2077	0.557	1.092	0.372
19:00	2821	9500	1567	0	5111	0.424	1.211	0.467
20:00	421	10000	1567	0	8011	0.215	1.359	0.586
21:00	0	6000	1567	0	4432	0.100	1.402	0.620
22:00	0	3000	3134	0	-134	0.103	1.089	0.370
23:00	0	1200	3134	0	-1934	0.151	1.073	0.357

Tabell B.2: Rådata för fall 1, utan optimering. Kolumn C (Last [W]) inkluderar V2X vid 17:00.

A	B	C	D	E	J	K
00:00	0	600	600	0	1.103	0.381
01:00	0	500	500	0	1.078	0.361
02:00	0	400	400	0	1.056	0.343
03:00	0	400	400	0	1.058	0.345
04:00	0	600	600	0	1.053	0.341
05:00	0	1200	1200	0	1.066	0.351
06:00	326	8500	8174	0	1.111	0.387
07:00	4478	9000	4522	0	1.077	0.360
08:00	6425	4000	0	-2425	0.911	0.227
09:00	7265	2000	0	-5265	0.646	0.015
10:00	7543	1000	0	-6543	0.612	-0.012
11:00	8309	800	0	-7509	0.574	-0.042
12:00	8898	700	0	-8198	0.498	-0.103
13:00	9082	800	0	-8282	0.426	-0.161
14:00	8577	1000	0	-7577	0.400	-0.182
15:00	7151	1200	0	-5951	0.515	-0.090
16:00	6014	1800	0	-4214	0.625	-0.002
17:00	5528	8714	0	-2528	0.702	0.060
18:00	4355	8000	3645	0	1.092	0.372
19:00	2821	9500	6679	0	1.211	0.467
20:00	421	10000	9579	0	1.359	0.586
21:00	0	6000	6000	0	1.402	0.620
22:00	0	3000	3000	0	1.089	0.370
23:00	0	1200	1200	0	1.073	0.357

Tabell B.3: Rådata för fall 2, målfunktion *Vinst*.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
00:00	0	600	0	0	0	0.8	600	0.784	1.103	0.381
01:00	0	500	500	0	0	0.8	0	0.784	1.078	0.361
02:00	0	400	400	0	0	0.8	0	0.784	1.056	0.343
03:00	0	400	400	0	0	0.8	0	0.784	1.058	0.345
04:00	0	600	600	0	0	0.8	0	0.784	1.053	0.341
05:00	0	1200	1200	0	0	0.8	0	0.784	1.066	0.351
06:00	326	8500	0	0	5760	0.3	2414	0.722	1.111	0.387
07:00	4478	9000	4522	0	0	0.3	0	0.722	1.077	0.360
08:00	6425	4000	0	-2425	0	0.3	0	0.706	0.911	0.227
09:00	7265	2000	0	-5265	0	0.3	0	0.690	0.646	0.015
10:00	7543	1000	0	-6543	0	0.3	0	0.675	0.612	-0.012
11:00	8309	800	0	-7509	0	0.3	0	0.659	0.574	-0.042
12:00	8898	700	0	-8198	0	0.3	0	0.644	0.498	-0.103
13:00	9082	800	0	-8282	0	0.3	0	0.628	0.426	-0.161
14:00	8577	1000	0	-1454	-6122	0.8	0	0.613	0.400	-0.182
15:00	7151	1200	0	-5951	0	0.8	0	0.597	0.515	-0.090
16:00	6014	1800	0	-4214	0	0.8	0	0.582	0.625	-0.002
17:00	5528	3000	7472	0	0	0.8	-10000	0.827	0.702	0.060
18:00	4355	8000	0	0	0	0.8	3645	0.732	1.092	0.372
19:00	2821	9500	0	0	0	0.8	6679	0.558	1.211	0.467
20:00	421	10000	0	0	0	0.8	9579	0.308	1.359	0.586
21:00	0	6000	0	0	0	0.8	6000	0.152	1.402	0.620
22:00	0	3000	1005	0	0	0.8	1995	0.100	1.089	0.370
23:00	0	1200	1200	0	0	0.8	0	0.100	1.073	0.357

Tabell B.4: Rådata för fall 3, målfunktionen *Kostnad*.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
00:00	0	600	0	0	0	0.80	600	0.784	1.103	0.381
01:00	0	500	500	0	0	0.80	0	0.784	1.078	0.361
02:00	0	400	400	0	0	0.80	0	0.784	1.056	0.343
03:00	0	400	400	0	0	0.80	0	0.784	1.058	0.345
04:00	0	600	600	0	0	0.80	0	0.784	1.053	0.341
05:00	0	1200	1200	0	0	0.80	0	0.784	1.066	0.351
06:00	326	8500	0	0	5760	0.30	2414	0.722	1.111	0.387
07:00	4478	9000	4522	0	0	0.30	0	0.722	1.077	0.360
08:00	6425	4000	0	-2425	0	0.30	0	0.706	0.911	0.227
09:00	7265	2000	0	0	-5265	0.73	0	0.690	0.646	0.015
10:00	7543	1000	0	-5685	-857	0.80	0	0.675	0.612	-0.012
11:00	8309	800	0	-7509	0	0.80	0	0.659	0.574	-0.042
12:00	8898	700	0	-8198	0	0.80	0	0.644	0.498	-0.103
13:00	9082	800	0	-8282	0	0.80	0	0.628	0.426	-0.161
14:00	8577	1000	0	-7577	0	0.80	0	0.613	0.400	-0.182
15:00	7151	1200	0	-5951	0	0.80	0	0.597	0.515	-0.090
16:00	6014	1800	0	-4214	0	0.80	0	0.582	0.625	-0.002
17:00	5528	3000	7472	0	0	0.80	-10000	0.827	0.702	0.060
18:00	4355	8000	0	0	0	0.80	3645	0.732	1.092	0.372
19:00	2821	9500	0	0	0	0.80	6679	0.558	1.211	0.467
20:00	421	10000	0	0	0	0.80	9579	0.308	1.359	0.586
21:00	0	6000	0	0	0	0.80	6000	0.152	1.402	0.620
22:00	0	3000	1005	0	0	0.80	1995	0.100	1.089	0.370
23:00	0	1200	1200	0	0	0.80	0	0.100	1.073	0.357

Tabell B.5: Rådata för fall 4, målfunktionen *Självkonsumtion*.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
00:00	0	600	0	0	600	0.748	0	0.800	1.103	0.381
01:00	0	500	500	0	0	0.748	0	0.800	1.078	0.361
02:00	0	400	400	0	0	0.748	0	0.800	1.056	0.343
03:00	0	400	400	0	0	0.748	0	0.800	1.058	0.345
04:00	0	600	600	0	0	0.748	0	0.800	1.053	0.341
05:00	0	1200	1200	0	0	0.748	0	0.800	1.066	0.351
06:00	326	8500	0	0	5160	0.300	3014	0.722	1.111	0.387
07:00	4478	9000	4522	0	0	0.300	0	0.722	1.077	0.360
08:00	6425	4000	0	-2425	0	0.300	0	0.706	0.911	0.227
09:00	7265	2000	0	-5265	0	0.300	0	0.690	0.646	0.015
10:00	7543	1000	0	-6543	0	0.300	0	0.675	0.612	-0.012
11:00	8309	800	0	-7509	0	0.300	0	0.659	0.574	-0.042
12:00	8898	700	0	-8198	0	0.300	0	0.644	0.498	-0.103
13:00	9082	800	0	-8282	0	0.300	0	0.628	0.426	-0.161
14:00	8577	1000	0	-1454	-6122	0.800	0	0.613	0.400	-0.182
15:00	7151	1200	0	-5951	0	0.800	0	0.597	0.515	-0.090
16:00	6014	1800	0	-4214	0	0.800	0	0.582	0.625	-0.002
17:00	5528	3000	7472	0	0	0.800	-10000	0.827	0.702	0.060
18:00	4355	8000	0	0	0	0.800	3645	0.732	1.092	0.372
19:00	2821	9500	0	0	0	0.800	6679	0.558	1.211	0.467
20:00	421	10000	0	0	0	0.800	9579	0.308	1.359	0.586
21:00	0	6000	0	0	0	0.800	6000	0.152	1.402	0.620
22:00	0	3000	1005	0	0	0.800	1995	0.100	1.089	0.370
23:00	0	1200	1200	0	0	0.800	0	0.100	1.073	0.357

Tabell B.6: Rådata för fall 5, målfunktionen *Effektoppar*.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
00:00	0	600	1708	0	0	0.800	-1108	0.827	1.103	0.381
01:00	0	500	1708	0	0	0.800	-1208	0.857	1.078	0.361
02:00	0	400	400	0	0	0.800	0	0.857	1.056	0.343
03:00	0	400	1708	0	0	0.800	-1308	0.889	1.058	0.345
04:00	0	600	1055	0	0	0.800	-455	0.900	1.053	0.341
05:00	0	1200	1200	0	0	0.800	0	0.900	1.066	0.351
06:00	326	8500	854	0	5760	0.300	1559	0.859	1.111	0.387
07:00	4478	9000	854	0	0	0.300	3667	0.764	1.077	0.360
08:00	6425	4000	0	-2425	0	0.300	0	0.748	0.911	0.227
09:00	7265	2000	0	-5265	0	0.300	0	0.733	0.646	0.015
10:00	7543	1000	0	-6543	0	0.300	0	0.717	0.612	-0.012
11:00	8309	800	0	-7509	0	0.300	0	0.702	0.574	-0.042
12:00	8898	700	0	-8198	0	0.300	0	0.686	0.498	-0.103
13:00	9082	800	0	-8282	0	0.300	0	0.671	0.426	-0.161
14:00	8577	1000	0	-7577	0	0.300	0	0.655	0.400	-0.182
15:00	7151	1200	0	0	-5951	0.786	0	0.639	0.515	-0.090
16:00	6014	1800	0	-4042	-171	0.800	0	0.624	0.625	-0.002
17:00	5528	3000	854	0	0	0.800	-3382	0.707	0.702	0.060
18:00	4355	8000	854	0	0	0.800	2790	0.634	1.092	0.372
19:00	2821	9500	854	0	0	0.800	5824	0.482	1.211	0.467
20:00	421	10000	854	0	478	0.758	8246	0.268	1.359	0.586
21:00	0	6000	854	0	0	0.758	5145	0.134	1.402	0.620
22:00	0	3000	1708	0	0	0.758	1291	0.100	1.089	0.370
23:00	0	1200	1708	0	-508	0.800	0	0.100	1.073	0.357

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se



CHALMERS