



Aktiv hushållning av egenproducerad solel

Etapp 1

Elforsk rapport 11:78



Pehr Brunnegård och Leopold Weingarten

Mars 2012

ELFORSK

Aktiv hushållning av egenproducerad solel

Etapp 1

Elforsk rapport 11:78

Förord

Projektet är indelat i två etapper varav Etapp 1 (datainsamlingsfasen) redovisas i denna rapport. Etapp 1 består av:

- En workshop
- Insamling och sammanställning av indata i form av lastprofiler till studien i etapp 2
- Beskrivning av verktyg och modeller (programvara Homer)
- Modellering och en kort känslighetsanalys i programvaran Homer med syfte att verifiera att insamlade nödvändiga indata finns och kan användas för syftet i etapp 2
- Kortare beskrivning av elkvalitetsproblem som kan uppstå vid produktion av el med solcellspaneler med utgångspunkt från insamlade mätdata från Glava Energy Center (GEC).
- Analys av mätdata som gjorts vid solelanläggningen i Glava Energy Center (GEC)

Etapp 2 är tänkt att bestå av ett arbete med utökade studier och fördjupade känslighetsanalyser där insamlade data från Etapp 1 används som underlag.

Vi tackar VB-energi, Uppsala Universitet, Högskolan i Dalarna, Chalmers, Glava Energy Center, Fortum och Pöyry Swedpower som bidraget med indata till studien.

Pehr Brunnegård och Leopold Weingarten

Detta projekt ingår i det tillämpade solcellsprogrammet SolEI 08-11.
Programmet finansieras av:

- Energimyndigheten
- Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond via NCC och JM
- Vattenfall
- E.ON Sverige
- Fortum
- ABB Corporate Research
- Göteborg Energi
- Exotech
- HSB
- Malmö stad Serviceförvaltningen
- Sharp Electronics Nordic
- Switchpower
- Mälarenergi
- Tekniska Verken i Linköping AB
- Jämtkraft
- Umeå Energi
- Falkenberg Energi
- Växjö Energi Elnät



Rapporten finns fritt nedladdningsbar från SolEI-programmets webbsajt:
www.solelprogrammet.se.

Bertil Wahlund

Elforsk AB

Sammanfattning

Syftet med projektet är att visa möjligheten att simulera olika förhållanden samt att värdera installationen av solceller för hushåll som installerar generering av solel (solceller).

Projektet är indelat i två etapper varav Etapp 1 (datainsamlingsfasen) redovisas i denna rapport. Etapp 1 består av en workshop, insamling och sammanställning av indata till studien, uppbyggnad av modell i Homer, en enklare känslighetsanalys för verifiering av indata, en kort beskrivning av verktyg (Homer programvara) samt beskrivning av elkvalitetsproblem som kan uppstå i elnätet vid solcellsanläggningar.

Det insamlade dataunderlaget och den framtagna modellen kommer att användas som underlag till studier och fördjupade känslighetsanalyser som genomförs i ett nytt projekt (etapp2).

Den genomförda känslighetsanalysen visar att det utan subventioner och med dagens elpriser och pris på solcellspaneler och växelriktare för en normalstor villa med normal förbrukning i Mellansverige inte är ekonomiskt att installera solcellspaneler. För att få en ekonomisk positiv effekt utan subventioner måste priset på växelriktare och solceller sjunka med 47 % eller elpriset öka med mer än 60 %. Produktionskostnaden för basfallet i vårt exempel är 11 kr/kWh. Studier avseende effekten av eventuell inkomst för överskottsel, med nuvarande elpriser, visar att det först är ekonomiskt att investera i en "fullstor" (5kW) solpanel om inköpspriset på de ingående komponenterna reduceras till en nivå lägre än 45 % av nuvarande priser som i beräkningen ansatts till 16 kkr/kW för solceller och 5 kkr för växelriktare. Analysen är endast gjord för att verifiera indata och den visar att insamlad data går bra att använda i programvaran Homer. För att få ett mer rättvisande resultat behöver en djupare känslighetsanalys med fler parametrar och fler förutsättningar genomföras. Vissa insamlade data förändras snabbt vilket gör det nödvändigt att vid fortsatta studier kontrollera att indata fortfarande är aktuell.

För att förbereda för kommande studier har även fall med batterilager studerats.

Slutsatsen som dras avseende elkvalitetsproblem och snabba spänningsvariationer är att vid solcellsanläggningar bör inte spänningsvariationerna vid bortkoppling av hela anläggningen bli större än 5 %.

Summary

The purpose of this project is to study under which circumstances it is most economically for households to invest in PV-cells.

The project is divided into two different phases. Phase 1 will be reported in this report. Phase 1 consists of a workshop, data collection, modeling, sensitivity analysis to verify the collected data, description of program tools (Homer program) that will be used and a short power quality analysis of measurements that has been done in a solar plant called Glava.

All collected data will be used as a base for an upcoming study (Phase 2) that will be done in a new project which is a more extensive study.

The sensitivity analysis shows that it is not economic to invest in a solar system cause the high investment price and low price of energy. It also shows that all collected data can be put into the used program tool. Some economic data is changing very fast and need to be checked before use in upcoming studies.

Conclusions drawn according to fast voltage variations in solar installations are that the voltage variation when the plant is disconnected should not be more than 5 %.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Omfattning	1
2	Workshop	2
3	Beskrivning av dataunderlag till Homer	3
3.1	Data för elanvändning	3
3.1.1	Lastprofil för småhus	3
3.1.2	Lastprofil för arbetsplats.....	6
3.1.3	Lastprofil för elbil	6
3.2	Data för solinstrålning	8
3.3	Priser för PV-celler, Växelriktare och batterier	11
3.4	Övriga indata.....	11
4	Beskrivning av programvara och modeller	12
4.1	Programvara.....	12
4.2	Indata	12
4.3	Utdata	14
4.4	Känslighetsanalys.....	14
5	Känslighetsanalys	15
5.1	Modellbeskrivning	15
5.1.1	Belastningar	16
5.1.2	Solcell	17
5.1.3	Energilager.....	18
5.1.4	Växelriktare.....	19
5.1.5	Elnät	19
5.1.6	Solresurs och temperatur	20
5.2	Resultat känslighetsanalys.....	21
5.3	Slutsats känslighetsanalys	22
5.4	Tips och kommentarer inför kommande studier.....	23
6	Analys av mätningar från Glava Energy Center	24
7	Slutsatser	27
8	Referenser	28

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Fler elkunder kommer i framtiden att själva kunna generera el genom vind och sol. Kunder med en egen lokal generering kallas "Prosumers". En del av kundens egen förbrukning kommer stundtals att kunna försörjas via den egna produktionen. Ökad användning av elbilar kommer samtidigt att öka belastningen i nätet. Det är därför också sannolikt att belastningstoppar i nätet kommer att få en ny karaktär jämfört med dagens situation. En sådan förändring sker troligen först då lönsamhet för investeringen av en sådan anläggning finns. För att ta reda på vad förutsättningarna är för att uppnå lönsamhet för en "prosumer" görs denna studie.

1.2 Syfte

Syftet med projektet Aktiv hushållning av egenproducerad solel är att studera under vilka förhållanden det är ekonomiskt försvarbart att som hushåll installera generering av solel (solceller).

1.3 Omfattning

Projektet är indelat i två etapper varav Etapp 1 redovisas i denna rapport. Enligt beslut som togs i Workshopen inkluderar den här rapporten den genomförda workshopen, insamling och sammanställning av indata till studien, uppbyggnad av en modell i Homer, en enklare känslighetsanalys för verifiering av indata, beskrivning av verktyg (Homer programvara) samt en kortare beskrivning av elkvalitetsproblem som kan uppstå med utgångspunkt från mätdata som samlats in vid soleanläggningen i Glava Energy Center (GEC).

Det insamlade dataunderlaget och den framtagna modellen från Etapp 1 kommer att användas som underlag till studier och fördjupade känslighetsanalyser som genomförs i ett nytt projekt (Etapp2).

2 Workshop

Som en inledning i projektarbetet genomfördes en workshop med deltagare från Vattenfall, Fortum, Högskolan i Dalarna, Uppsala universitet och STRI. Syftet med workshopen var att klarlägga projektets inriktning, så att man fokuserade på de frågor som var av störst intresse för SolEI- och SmartGrid-programmen inom Elforsk. Mötesanteckningar från denna workshop finns i [1].

Under workshopen, 2011-04-28, beslutades att etapp 1 (datainsamlingsfasen) skulle innehålla följande punkter:

1. Datainsamling:
 - Lastprofiler för "Småhus" över ett år med timupplösning. Företrädesvis endast hushållsel samt hushållsel plus någon form av värmepåvärmare.
 - Information om vilka hushållslaster som kan flyttas i tid. Storlek på dessa laster.
 - Lastprofil för köpcentrum eller arbetsplats (Vad som finns tillgängligt)
 - Laddningsprofil/nyttjandeschema för elbil. Hur ser laddningskaraktäristiken ut?
 - Mätserier från SMHI-stationer med timupplösning. Solinstrålning samt temperatur eller liknande.
 - Priser och tänkbara prisförändringar vad gäller: PV-celler, Växelriktare och batterier.
 - Mätningar från Glava Energy Center (GEC), både över längre tid för verifiering av Homers simuleringar och över kort tid med hög upplösning för analys av elkvalitetsproblem.
2. Beskrivning av de elkvalitetsproblem som kan uppstå på minutbasis (baserade på mätningar från GEC)
3. Beskrivning av programvaran Homer och en enklare känslighetsanalys med syfte att skapa en modell att utgå från i kommande studier i etapp 2 samt att verifiera indata.

Arbetet i datainsamlingsfasen, Etapp 1, syftar till att samla in den information i form av indata och mätvärden som behövs för den djupare och mer omfattande studie som kommer utföras i etapp 2. Genom att utföra en enklare känslighetsanalys, enligt punkt 3 ovan, definieras och verifieras de nödvändiga inparametrar som behövs för modellering av soleanläggningen i programvaran Homer.

3 Beskrivning av dataunderlag till Homer

Insamling och sammanställning av indata till framtida studier i etapp 2. Det insamlade underlaget består av data för elanvändning, data för solinstrålning, priser för PV-celler, priser på Växeriktare och priser på batterier.

3.1 Data för elanvändning

Nedan följer en sammanställning av lastprofiler för småhus, arbetsplats och elbilar.

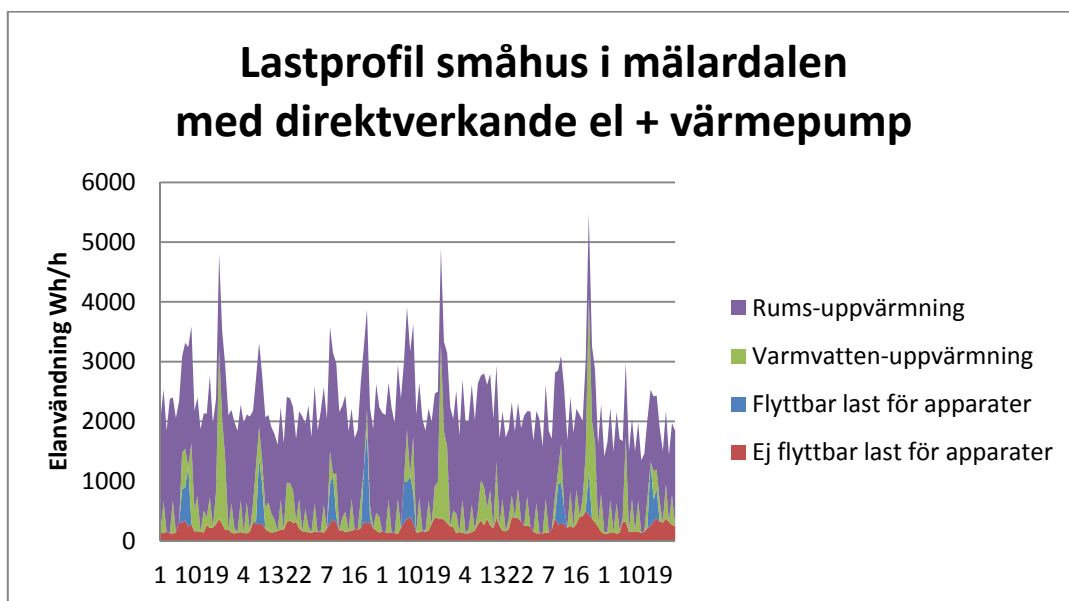
3.1.1 Lastprofil för småhus

Timvärdesmätningar [Wh/h] för ett år finns för två olika hushåll. Ett i Mälardalen med direktverkande värmepump och ett i norra Sverige kopplad till fjärrvärme. De två dataserierna samlades in av Energimyndigheten 2005-2008 i en omfattande mätstudie och har tidigare använts i detaljstudier av elanvändning i svenska hushåll [6] och utveckling av matematiska lastmodeller [7].

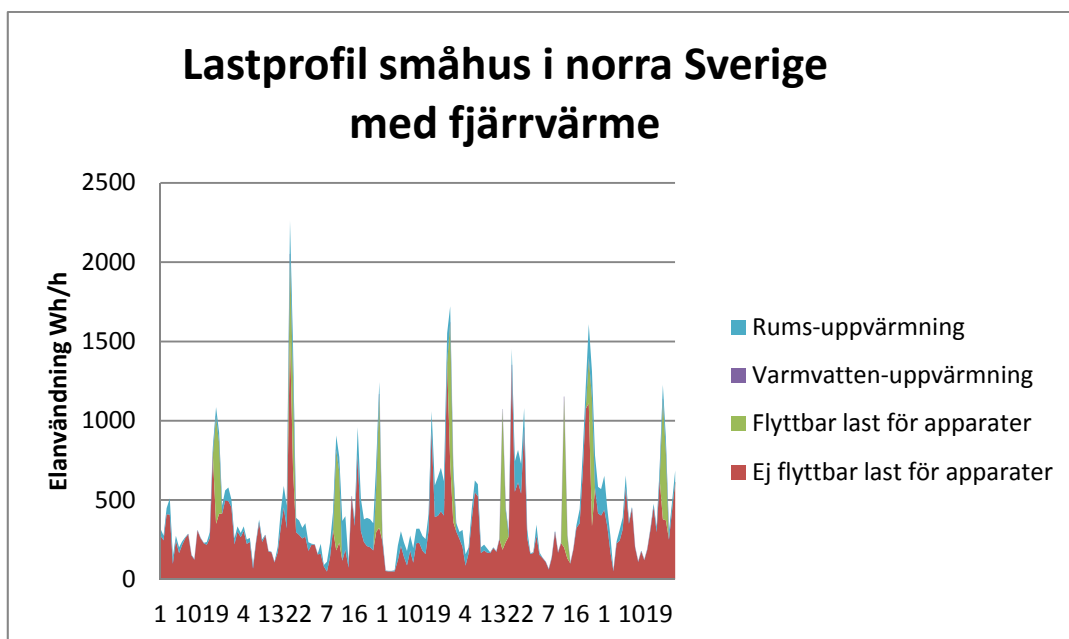
Alla mätserier enligt tabell 3.1 och 3.2 är uppdelade och summerade på fyra kategorier/mätserier beroende på lasttyp.

- A. Ej flyttbar last för apparater
- B. Flyttbar last i tiden för apparater
- C. Varmvattenuppvärmning
- D. Rumsuppvärmning

Timvärden finns att tillgå från 1 januari till 31 december i form av ett exceldokument. Figur 3.1 och 3.2 visar de två alternativen under en vecka i januari.



Figur 3.1 Lastprofil för småhus i mälardalen med direktverkande el och värmepump sista veckan i januari



Figur 3.2 Lastprofil för småhus i norra Sverige med fjärrvärme sista veckan i januari

Tabell 3.1 och 3.2 visar en lista på mätserier och hur uppdelningen är gjord mellan de olika typlasterna/kategorierna A, B, C och D som beskrivs ovan.

De överstrukna dataserierna är summeringsvärden av flera serier och temperaturvärden som ej används i beräkningarna för att få fram

kategoriindelningen. Då mätning skett på flera faser har serierna samma namn men olika nummer. (T.ex. stove (Spis) P1, P2 och P3)

Tabell 3.1 Kategorisering av typlaster för hushåll i mälardalsregionen

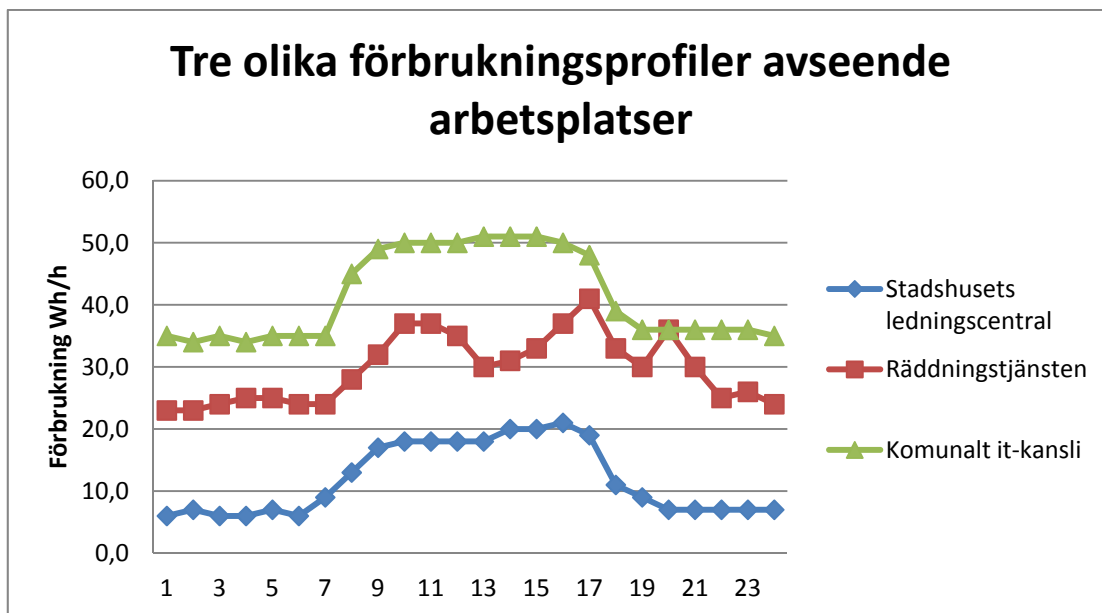
N:o	Kategori	Measured data
1	B	Dish washer 1 - Wh
2	A	Audiovisual site 1 - Wh
3	B	Clothes drier 1 - Wh
4	A	Computer site 1 - Wh
5	D	Heating 1 P2 - Wh
6	A	Fridge 1 - Wh
7	A	Fridge 2 - Wh
8	D	Heating 1 P1 - Wh
9	A	Hi-fi 3 - Wh
10	D	Heating 1 P3 - Wh
11	A	Hi-fi 1 - Wh
12	A	Hi-fi 2 - Wh
13		Main P2 - Wh
14		Inside - °C
15	A	Jacuzzi 1 - Wh
16		Main P1 - Wh
17	A	Stove 1 P1 - Wh
18		Main P3 - Wh
19	A	Microwave 1 - Wh
20		Outside - °C
21		Total consumption - Wh
22	A	Stove 1 P2 - Wh
23	A	Stove 1 P3 - Wh
24	A	Table top freezer 1 - Wh
25	A	TV 1 - Wh
26		Total Heating consumption - Wh
27	A	Total Light consumption - Wh
28		Total Water heater consumption - Wh
29	C	Water heater P1 - Wh
30	A	TV 2 - Wh
31	B	Washing machine 1 P1 - Wh
32	B	Washing machine 1 P2 - Wh
33	A	Vertical freezer 1 - Wh
34	C	Water heater P2 - Wh
35	C	Water heater P3 - Wh
36	A	VCR + DVD 1 - Wh

Tabell 3.2 Kategorisering av typlaster för hushåll i norra Sverige

N:o	Kategori	Measured data
1	D	Floor heating 1 - Wh
2	A	Circulation pump 1 - Wh
3	A	Computer site 1 - Wh
4	B	Dish washer 1 - Wh
5	A	Fridge freezer 1 - Wh
6	A	Guitar amplifier 1 - Wh
7	A	Hi-fi 1 - Wh
8	A	Mangle 1 - Wh
9		Main P1 - Wh
10		Main P2 - Wh
11		Main P3 - Wh
12	A	Microwave 1 - Wh
13		Inside - °C
14		Outside - °C
15	A	Stove 1 P1 - Wh
16	A	Stove 1 P2 - Wh
17	A	Stove 1 P3 - Wh
18	B	Washing machine 1 - Wh
19	A	TV + VCR 1 - Wh
20	A	TV + VCR 2 - Wh
21	A	TV 1 - Wh
22	A	Ventilation 1 - Wh
23	A	Water heater (kettle) 1 - Wh
24	A	VCR + DVD 1 - Wh
25	A	Total Light consumption - Wh
26		Total consumption - Wh
27		Total Heating consumption - Wh

3.1.2 Lastprofil för arbetsplats

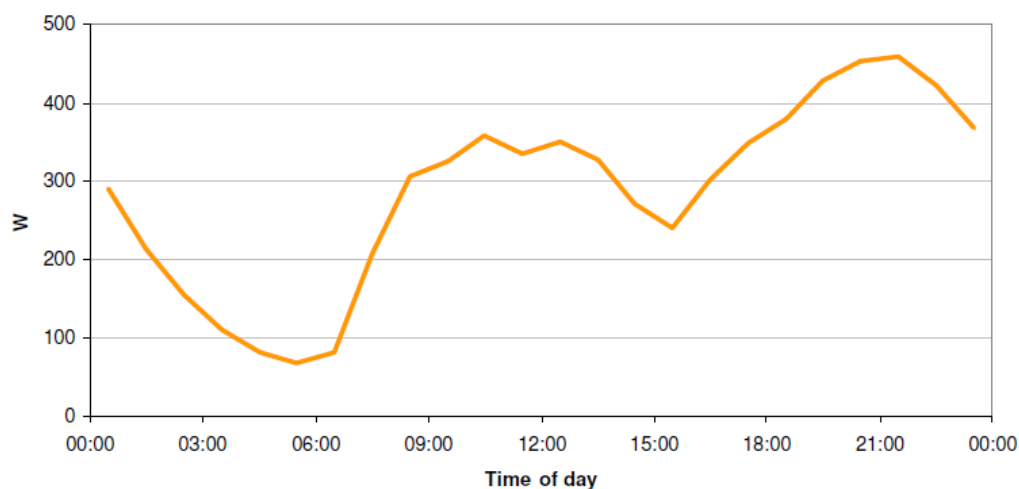
Mätdata för tre olika arbetsplatser finns insamlade. I figur 3.3 nedan visas lasten under ett dygn vid höglast (vintertid). Hos VB energi finns mätserier för hela året att tillgå.



Figur 3.3 Lastprofil för tre olika arbetsplatser under ett dygn vid höglast.

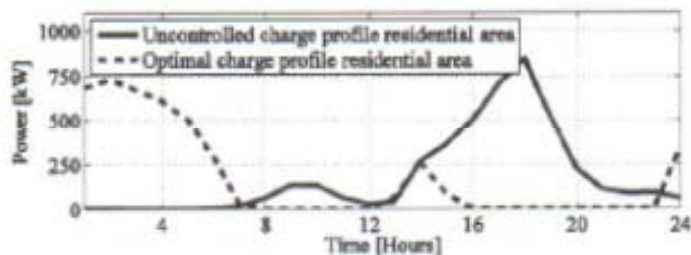
3.1.3 Lastprofil för elbil

I en studie som gjorts hos Vattenfall [4], som är en sammanfattning av deras testkörningar av elbilar under 2010, beskrivs en genomsnittlig laddprofil på bilarna som använts.

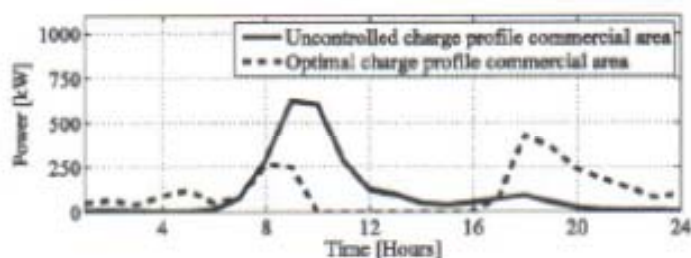


Figur 3.4 Genomsnittlig laddprofil för de bilar som ingick i Vattenfalls studie.

Från en artikel [5] från Chalmers som presenterats vid CIRED konferens i Frankfurt 6-9 Juni 2011 finns figurer (figur 3.5 och 3.6) som visar okontrollerad och optimal laddningsprofil för elbil vid hushållet och vid arbetsplatsen. Med okontrollerad laddning menas att de som laddar bilen ej styrs av något utan startar laddningen då de kommer hem eller till jobbet.



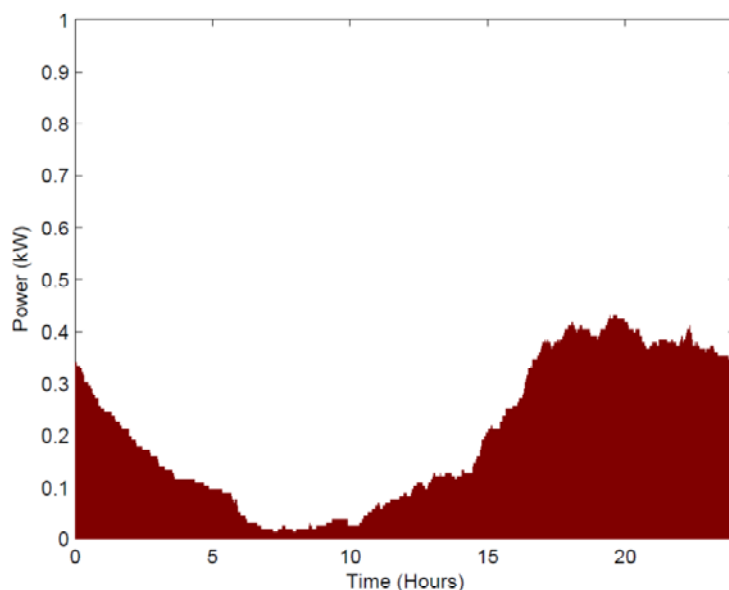
Figur 3.5 Laddprofil för hemmet



Figur 3.6 Laddprofil för arbetsplats

För lastprofilerna avseende elbilar finns data i form av ovan plottade figurer. Då det varit svårt att ta fram timvisa mätdata för dessa har vi sammanställt en kontaktlista med de personer som, om nödvändigt, kan kontaktas för att eventuellt få tillgång till mer detaljerade data.

Uppsala Universitet har tagit fram en modell för att generera laddningsprofiler för en elbil i ett genomsnittligt svenskt hushåll. Utdata är på minutbasis över valfri tidsperiod. De kan även ta fram profiler över elbils-laddning därifrån. Ett exempel visas i figur 3.7. Den visar en genomsnittlig lastkurva över ett år för en dag med minutupplösning som för övrigt stämmer bra överens med kurvan från i figur 3.4 från Vattenfall. En rapport [8] avseende detta skrivs just nu på Uppsala Universitet.



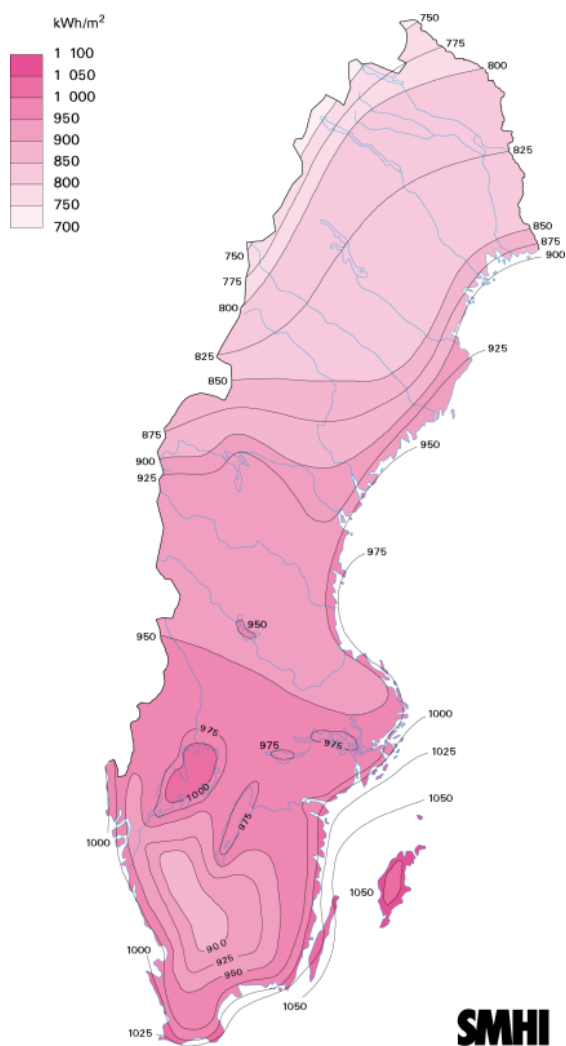
Figur 3.7 En dags genomsnittlig lastkurva för elbil över ett år med minutupplösning.

3.2 Data för solinstrålning

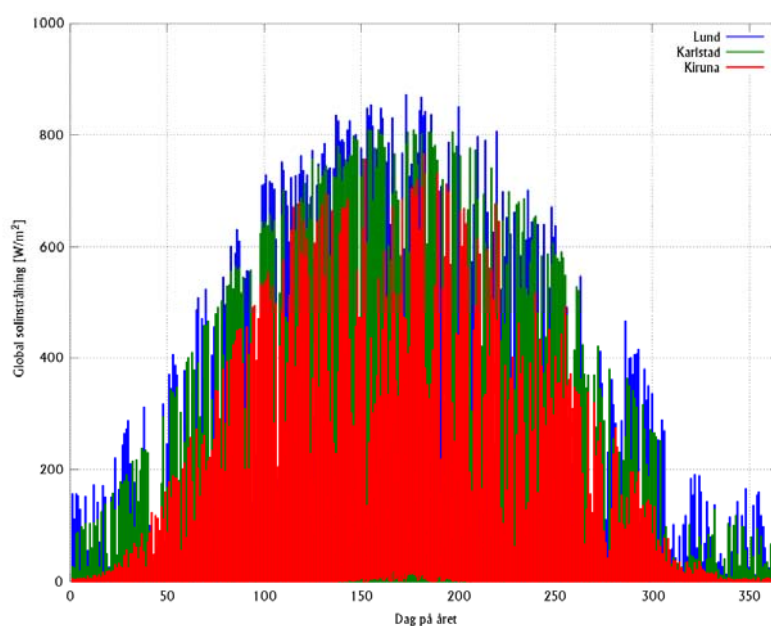
Registreringar av solinstrålning på ett horisontellt plan för tre platser i Sverige redovisas i figur 3.9 till 3.10; norr, mellan och söder. Registreringarna är gjorda av SMHI under 1993 för Kiruna (norr), Karlstad (mellan) och Lund (söder).

Enligt klimatkarta (figur 3.8 från SMHI) som illustrerar värdet för globalstrålning ett helt år under den av WMO definierade normalperioden 1961-1990 är medelvärdet i Kiruna 850-900 kWh/m², i Karlstad 975-1000 kWh/m² och i Lund 975-1025 kWh/m².

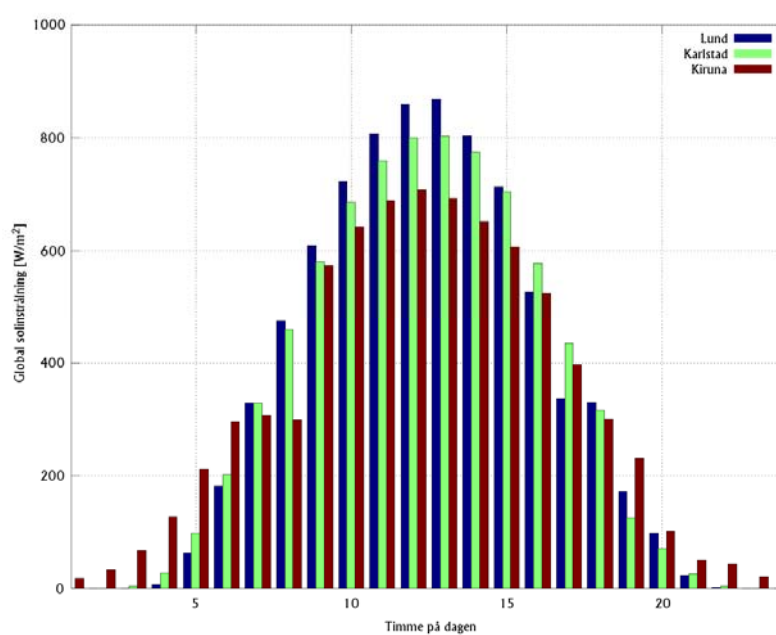
Medelvärdet för ett år av de inlästa serierna är 84 W/m² Kiruna, 112 W/m² i Karlstad och 109 W/m² i Lund vilket visar att 1993 ett relativt "typiskt år" för solinstrålning vid jämförande med normalåret.



Figur 3.8 Klimatkarta som illustrerar värdet för globalstrålning ett helt år under den av WMO definierade normalperioden 1961-1990



Figur 3.9 Solinstrålning för tre platser i Sverige per dag under ett år



Figur 3.10 Solinstrålning för tre platser i Sverige per timme under en dag

3.3 Priser för PV-celler, Växelriktare och batterier

Solarbuzz har "retailpriser" [9] d.v.s. priser som man får som en vanlig kund. De är vanligtvis 30-50 % högre än om man köpa som företag. Photon har företagspriser (återförsäljare eller större kunder) men även spot market priser vilket antas vara mindre relevant för projektet. För batterier har retail priser hittats. Alla priser anges exklusive moms.

Priser 2011 (för Europa och USA):

PV-celler (Solcellmoduler)

Si kristallin i Europa: 1,7 Euro/Wp. (I Kina -20 %)

Tunntunnfilm 1,2 Euro/Wp. (På spot marknad kanske 10 % högre än vanligt pris)

Växelriktare

<5 kW 0,53 Euro/Wp

5-10 kW 0,44 Euro/Wp

10-100 kW 0,34 Wp

Batterier

0,15 Euro/Wh (retail price)

Tyvärr finns i det här fallet ingen information om vilken typ av batterier som redovisas men det har antagits att det är öppna blybatterier.

På historiskt sätt har modulpriser för solceller sjunkit sedan två år från 2,5 Euro/Wp till 1,7 Euro/Wp och man kan förvänta sig att priser försätta att sjunka men med en mindre hastighet. Batteri- och växelriktarpriser har varit relativt konstant. En kostnadssänkning på Växelriktare kan förväntas eftersom de stora tillverkarna har utökat sina produktionskapaciteter. Batterier är mycket beroende på materialpriser och det betyder att priserna troligen kommer att stiga i framtiden. Det är därför vid stor vikt att vid genomförande av del 2 i detta projekt kontrollera att pris och pristrender fortfarande överensstämmer med ovanstående.

3.4 Övriga indata

Ytterligare indata som samlats in eller uppskattats (så som nedsmutsning av PV celler, livstid, verkningsgrad, elpriser och nätavgifter) för att kunna genomföra en studie framgår av avsnitt 5.

4 Beskrivning av programvara och modeller

Vid genomförande av studierna som kommer utföras i etapp 2 kommer en programvara benämnd Homer att användas. Nedan görs en kortfattad beskrivning av programvara och modeller. Mer information finns att läsa i manual till programvaran för Homer [3].

4.1 Programvara

Homer är ett optimeringsprogram som underlättar utvärdering av designen på nätanslutna och icke nätanslutna kraftsystem av varierande slag.

Då kraftsystem dimensioneras måste flera olika beslut fattas, vilket gör konfigurationen av ett system komplext. Att fatta dessa beslut kan vara svårt då variationen är stor vad gäller teknik, kostnad och tillförlitlighet. Homer Micropower Optimization Model är utvecklad av U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) för att underlätta vid dimensionering av småskaliga produktionsanläggningar. Homers optimerings- och känslighetsanalys-algoritmer gör det enklare att utvärdera flera möjliga konfigurationer och svara på:

- Vilka komponenter som bör tas med vid dimensionering
- Hur många de bör vara och vilken storlek som skall användas

Modellerna i Homer bygger på fysiska samband och olika livscykelkostnader utreds. Programmet gör det möjligt att jämföra många olika designalternativ baserat på deras tekniska och ekonomiska bakgrund. En funktion som programmet har är dess känslighetsanalys. Lastprofiler kan skalas och diskreta data varieras.

Ett kraftsystem byggs genom att fördefinierade komponenter väljs och ansluts till modellen. Det finns ett antal moduler så som PV-moduler, vindturbiner, vattenkraftturbiner, generatorer, ångturbiner, omformarstationer, elektrolysör, batterier, bränsleceller samt möjlighet till nätanslutning. Det finns möjlighet att själv ange komponentdata. Homer har även komponentdata inläst.

Homer har även möjlighet att simulera utsläpp av växthusgaser.

Då data matas in i Homer måste hänsyn tas till att det använder engelskt decimalsystem.

4.2 Indata

Det finns flera olika sätt på vilken indata kan anges till Homer. Det vanligaste sättet är i form av diskreta värden eller i tabellform där varje värde representerar en viss tidsperiod. Den vanligaste förekommande är medelvärden per år månad eller timme.

I Homer finns det också möjlighet att anpassa medelvärden för att ge en mer realistisk årlig fördelning efter slumpad dygnsvariation.

Tabell 4.1 visar möjliga indata (Parametrar) och moduler för diskreta värden. Med parameter "ekonomi" avses kostnad för *storlek/effekt, installation, utbyte* samt *underhåll*. Utsläppsparametrarna har inte återgivits i detalj.

Tabell 4.1 Sammanställning av moduler med diskreta indata

Modul	Parameter	Kommentar
Primär belastning	Effekt	Kan skrivas in per timme
	Variation	Önskad avvikelse i procent
	Effekt	Önskad medelvärden
Differentierad belastning	Lagringkapacitet	Exempelvis batteri eller tank
	Topplast	
	Laddningsförhållande	Minsta effekt i förhållande till maximal effekt som kan överföras lasten
Termisk belastning	Effekt	Kan skrivas in per timme
	Variation	Önskad avvikelse i procent
	Ekonomi	
Växelriktare	Livtid	Både för Växelriktare samt likriktare
	Verkningsgrad	Både för Växelriktare samt likriktare
	Verkningsgrad	
Varmvattenberedare	Utsläppsparametrar	Parametrar som rör utsläpp, som exempelvis g/L CO ₂
	Ekonomi	
	Livtid	
Vätetank	Startinnehåll	Innehåll från början
	Ekonomi	
	Livtid	
Solcell	Nedsmutsning	Skalfaktor som tar hänsyn till exempelvis smuts
	Lutning	Grader från horisontalplanet
	Azimuth	Grader väster och öster där o grader motsvarar söder
	Markreflektion	
	Anpassning	Möjlighet att anpassa solcellspanelerna efter solens rörelse
	Temperaturkoefficient	Beskriver temperaturens påverkan
	Nominell arbetstemp.	Vid 0,8 kW/m ² solstrålning och omgivningstemp 20°C och vind 1 m/s
	Verkningsgrad	Anges vid STC
	Ekonomi	
	Typ	Finns färdiga modeller som ger effekt i förhållande till vindhastighet. Även möjligt att själv ange parametrar.
	Livtid	
	Höjd	
	Ekonomi	
Batteri	Typ	Finns färdiga modeller som ger nominell spänning, effekt, energi samt hur laddningscykler påverkar livtiden. Även möjligt att själv ange parametrar.
	Antal batterier per plats	Ger spänningsnivå
	Startladdning	
Vätebehov	Minsta livtid	
	Behov	Kan skrivas in per timme
	Variation	Önskad avvikelse i procent
Elektriskt nät	Taxa	Värde för köp samt återförsäljning. Möjligt att ta hänsyn till tid på dag, vecka samt månad.
	Utsläppsparametrar	Parametrar som rör utsläpp, som exempelvis g/L CO ₂
	Anslutningskostnad	
	Effektereserv	Årlig kostnad för reservkraft
	Maximal försäljningsmöjlighet	
	Kontrollparametrar	Kontrollparametrar belagda med kostnader, som exempelvis nivå för försäljning till nätet
Svängghjul	Återförsäljningsparametrar	Anger parametrar för återförsäljning map. på vindprognos eller fast effekt
	Ekonomi	
	Typ	
Generator	Livtid	
	Ekonomi	
	Livtid	I antal timmar
	Minsta laddning	Minsta möjlig laddning
	Bränsle	
	Driftparametrar	Bränsleåtervinning, tomgångsbrukning och normal driftbrukning
	Utsläppsparametrar	Parametrar som rör utsläpp, som exempelvis g/L CO ₂
	Körningsschema	Möjlighet att ange körningsschema: av, på samt optimal drift
Vattenturbin	Ekonomi	
	Livtid	
	Höjd	
	Flöde	Även möjligt att ange max/min flöde
	Verkningsgrad	
	Friktionsförluster	
Reformer	Ekonomi	
	Verkningsgrad	
	Livtid	
	Servningsträcka	Sträcka i km som producerad väte måste transporteras
	Verkningsgrad	
Solresurs	Intensitet	Kan skrivas in per månad
	Clearness index	Intensitet vid jordens yta dividerat med intensitet i atmosfären
	Position	Longitud och latitud
Vindresurs	Vindhastighet	Kan skrivas in per månad
	Höjd	
	Höjd för anemometer	
	Vindparametrar	Parametrar för skalning, som Weibulls k-parameter och toppvärden för vind, finns även möjlighet att välja loglaw eller powerlaw för vinduppskattning
	Vattenflöde	Kan skrivas in per månad
	Minimumflöde	Minsta flödes om måste passera genom turbinen
Bränsle	Pris	Finns även möjlighet att begränsa konsumtionen
	Kalkylränta	
	Återbetalningstid	
Projektkonomi	Fasta kostnader	
	Fast årlig kostnad	
	Straff vid kapacitetsbrist	Möjligt att ange straffavgift vid kapacitetsbrist
Systemkontroll	Steglängd för simulering	

	Laddningsmetodik	Möjlighet att låta generatorer ladda batterier
Temperatur	Temperatur	Kan skrivas in per månad
Utsläpp	Straffavgift för utsläppsparametrar	Överträdelse kan straffas ekonomiskt
	Tak för tillåtna utsläpp	
Begränsningar	Tillåten kapacitetsbrist	
	Minsta andel förnyelsebart Effektreserv	För 0-drift: hur stor andel av generatören som måste hållas i reserv. Även möjligt att ange som procent av sol/vind effekt.

Tabell 4.2 återger de moduler till vilka man kan läsa in tabellerade värden. Vissa moduler har båda funktionerna. Det vill säga att det finns möjlighet att mata in data antingen i diskret form eller via tabellform. Så gäller exempelvis för Solresurs.

Tabell 4.2 Sammanställning av moduler med tabellerade indata

DeModul	Parametrar	Filtyp
Primär last	Effekt	*.txt alt *.dmd
Termisk last	Effekt	*.txt alt *.dmd
Vätebehov	Behov	*.txt alt *.dmd
Elektriskt nät	Rörligt elpris: köp / sälj	*.txt
Reformer	Livstid / Servningsträcka	*.txt alt *.dmd
Solresurs	Soldata	*.txt alt *.tm2 alt *.csv alt *.sol
Vindresurs	Vindhastighet	*.txt alt *.wnd
Vattenresurs	Vattenflöde	*.txt alt *.hyd
Temperatur	Temperatur	*.txt alt *.tm2 alt *.csv

För tabellerade data skall denna vara i form av en textfil (*.txt) där ett värde återfinns på varje rad. Skall data presenteras för ett år innebär detta 8760 poster. Homer har även en egen filtyp för data, *.dmd. För vissa moduler accepterar Homer andra filtyper, se tabell 4.2.

Det är möjligt att erhålla all inmatad indata samlad i en html-baserad fil.

4.3 Utdata

Som utdata redovisas bästa möjliga uppsättning med avseende på modul-sammansättning och energiflöden. Ytterligare redovisas investeringskostnad, driftkostnad, total nettokostnad, kostnad per kilowattimme och andel förnyelsebart.

Det finns möjlighet att direkt kopiera från programmets tabeller (kompatibelt med exempelvis Excel) eller erhålla informationen i form av en textfil (txt).

4.4 Känslighetsanalys

I Homer finns det möjlighet att skala olika indata med hjälp av en skalningsparameter. Vidare är det även möjligt att ange att Homer skall undersöka variation i antal, installerad effekt eller exempelvis ekonomi. Flertalet av de angivna parametrarna kan varieras. Stor variation av inparametrar resulterar i att beräkningar tar längre tid.

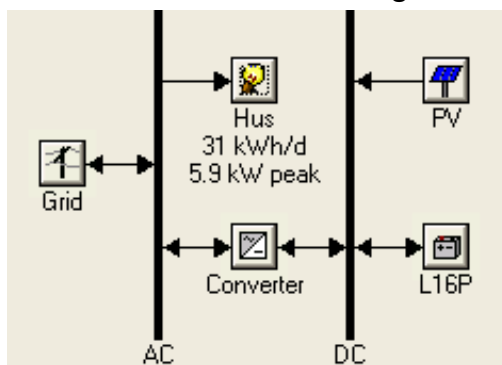
5 Känslighetsanalys

För att verifiera att nödvändiga data finns tillgängliga och att insamlade data kan användas i kommande projekt har en enkel känslighetsanalys i programvaran Homer utförts. Resultatet visar endast att insamlade indata är rimliga och kan användas i en kommande finavstämd studie med hjälp av programmet Homer.

I Känslighetsanalysen har storleken på solcell och växelriktare för en villa optimerats. Det har också undersökts vid vilket elpris och kostnad för PV-celler och växelriktare systemet blir lönsamt.

Den uppbyggda modellen i Homer kommer att ligga till grund för kommande projekt. Nedan följer modellbeskrivning och komponentgenomgång.

5.1 Modellbeskrivning



Figur 5.1. Systemöversikt

Ett scenario har modellerats där ett hus i Mellansverige anslutits till elnätet. Huset drivs av direktverkande el (se avsnitt 3.1.1) och är ansluten till en solcellsmodul och batteri. Växelriktaren länkar växelström med likström.

I modellen utgår ingen kostnad för underhåll av varken solceller, Växelriktare eller batteri. Detta eftersom anläggningen antas vara installerad i en villa där underhåll bör kunna skötas av ägaren. Övrig modulkostnad är medelvärdesuppskattningar från SolarBuzz [9]. Framtida priser förväntas sjunka.

Återbetalningstiden för projektet är satt till 10 år och en kalkylränta på 5 procent har använts.

5.1.1 Belastningar

Tre olika typer av belastningsmodeller finns tillgängliga enligt tabell 4.1 och 4.2.

Primär belastning:

Elektrisk belastning inträffar en viss tid. Exempel på primär belastning är belysning, radio, TV, hushållsmaskiner, datorer och processsystem inom industrin.

Differentierad belastning:

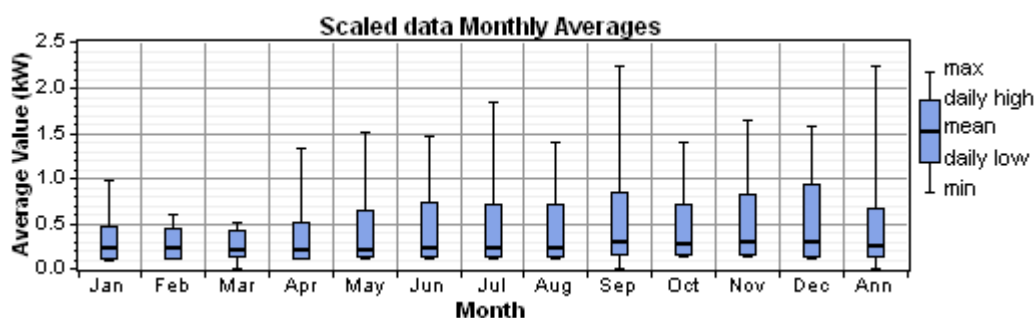
Elektrisk belastning som kan inträffa när som helst under ett dygn. Exempel på differentierad belastning är vattenpumpar, kyl, frys och batteriladdare.

Termisk belastning:

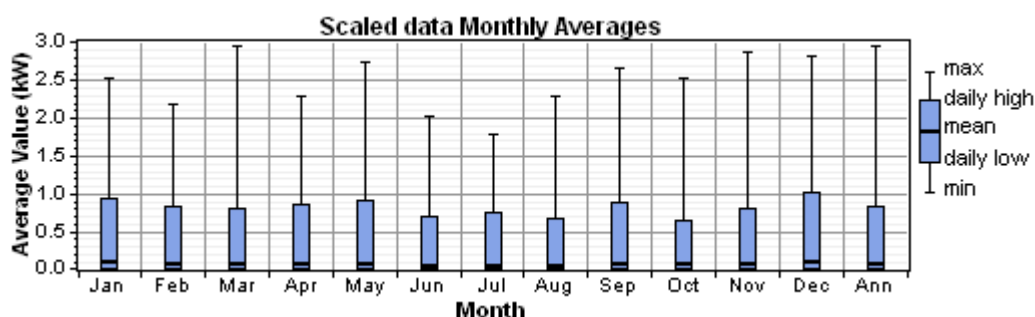
Termisk belastning är elektrisk energi för uppvärmning.

Belastningarna matas in timvis i programmet antingen genom att ladda in en fil med timvärden eller genom att använda data som finns i HOMER. Den använda lastprofilen är kopplad till huset med direktverkande el i mälardalen som beskrivs i avsnitt 3.

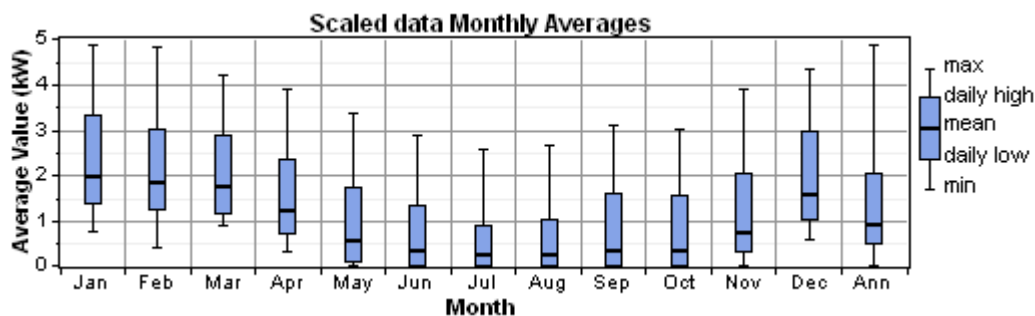
Figur 5.2, 5.3, 5.4 och 5.5 visar hur inmatade tabellvärden tas om hand i Homer. Figurerna visar dygnsmedelvärde och uppskattad max och min förbrukning varje månad.



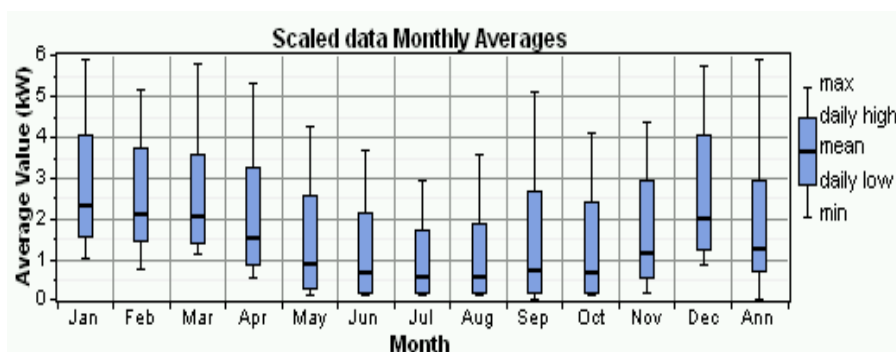
Figur 5.2 Lastkurva för primär belastning.



Figur 5.3 Lastkurva för differentierad belastning.



Figur 5.4 Lastkurva för termisk belastning.



Figur 5.5 Lastkurva för summerad huslast.

5.1.2 Solcell

För solceller antas att kiselbaserade solceller används. Valda kostnader för solceller och batteri redovisas i tabell 5.2. Från underlaget omräknat till svenska kronor.

Tabell 5.2 Kostnader per kW i svenska kronor

Komponent	Investeringskostnad	Utbyteskostnad
Solcell	16 184	6474
Batteri	1 000	1 000
Växelriktare	5 046	5 046

Då inköpspriset för solceller antas sjunka relativt snabbt har utbyteskostnaden satts till 40 % av nuvarande prisnivå. Förutom investeringskostnaden och utbyteskostnaden i tabell 5.2 ingår även en separat kostnad för arbete med installation samt material som antagits vara 5 kkr. Utbyteskostnaden utnyttjas av Homer för att beräkna hur mycket som kan hämtas hem då livstiden på komponenter överstiger projektets återbetalningstid.

Känslighetsanalys på storleken av solceller har utförts och storleken på den simulerade anläggningen sträcker sig från 0 till 5 kW. Inmatade storlekar visas i tabell 5.3.

Tabell 5.3 Valda storlekar på solceller

Valda storlekar på solceller [kW]										
0	0,1	0,2	0,3	0,6	1	1,5	2	3	4	5

För solcellernas verkningsgrad tas även hänsyn till omgivande temperatur, markreflektion och nedsmutsning. Verkningsgraden för de system som finns i Sverige i dag ligger i intervallet 13-15 %. Livstiden är satt till 20 år. Restvärdet för komponenten räknas ut som utbyteskostnad*återstående livstid/total livstid. I tabell 5.4 visas inmatade värden.

Tabell 5.4 Övriga Indata solcell

Temperaturkoeff. för uteffekt [% / °C]		Nominell celltemp [47°C]		Standardiserad verkningsgrad [%]	
-	0,45	47		13	
Livstid [år]	Nedsmutsning [%]	Vinkel [°]	Azimuth [° V om S]	Markreflektion [%]	
20	97	45	0	20	

5.1.3 Energilager

Det batteri som har använts är av fabrikat Trojan L16P, vilket är ett blybatteri med flytande elektrolyt som lämpar sig väl för mindre till medelstora anläggningar. Enligt [10] vanlig förekommande i solcellsanläggningar.

Känslighetsanalys görs på batteriets storlek. Batterierna seriekopplas 4:a och 4:a vilket ger en spänning på 24 V i anläggningen med stegrande uteffekt beroende på hur många som parallellkopplas. I beräkningen varierar batteriernas antal därför från 4 till 24 stycken med en ökning om 4 per steg. Förslagsvis väljs 48V batterispänning i del 2 av detta projekt vilket är mer vanligt. Batteriets livslängd är 10 år men kan i beräkningen förkortas beroende på hur batteriet cyklas (d.v.s. laddas upp och -ur.)

Tabell 5.5. Nominell batteridata (komponentdata från standardmodell i Homer).

Spänning [V]	Kapacitet [Ah]
6	360

5.1.4 Växleriktare

Känslighetsanalys har gjorts avseende batteriets storlek. Homer har därför modellerats med en statisk Växleriktare i storlekarna från 0 till 5 kW. Samma storleksförhållande antas som för solcellerna. Se även avsnitt 5.3 modellering av solcell. Livstiden är satt till 20 år och verkningsgraden 8 %.

Tabell 5.6 Inmatade data Växleriktare

Livstid [år]	Verkningsgrad [%]
20	85

Valda storlekar på Växleriktare [kW]										
0	0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	1,5	2	3	4	5

5.1.5 Elnät

Det elektriska nätet är en komponent till vilken den modellerade anläggningen kan köpa och sälja el. De priser som används är nätavgifter och elpris för en privatkonsument.

Elpriserna har inhämtats från månadsvis inläsning som bygger på medelvärde per månad mellan år 2010 och år 2009 för en privatkonsument (från en av våra egna konsulter i Göteborg) med en årsförbrukning om ca 16 000 kWh. Totala elpriset inklusive skatt (exklusive elcertifikatsavgift) matas in per månad under ett år. Underlaget för elpriset som använts har 2009 ett snittpris på 54 öre per kwh och 2010 ett snittpris på 89 öre per kwh. Nätavgiften är en fast avgift på 1160 kr/år och ett rörligt snittpris på 26 öre per kwh. Den fasta avgiften används ej i beräkningen då den är oberoende av om det finns solcell i anläggningen eller ej. Den är först intressant om det med batterilager är möjligt att reducera effekttoppar så att huvudsäkringen och därmed den fasta avgiften kan reduceras. Detta bör undersökas i del 2 av projektet.

Överskottsel från solcellspanelerna som ej förbrukas i villan antas i dessa beräkningar matas in på nätet utan kostnad.

För att undersöka effekten av inkomsten för överskottsel har en simulering även gjorts där samma elpris använts för el som matas in till elnätet som vid inköp av el till fastigheten.

I framtida beräkningar i etapp 2 av detta projekt bör hänsyn tas även till ersättning för överskottsel som finns från fyra tänkbara källor:

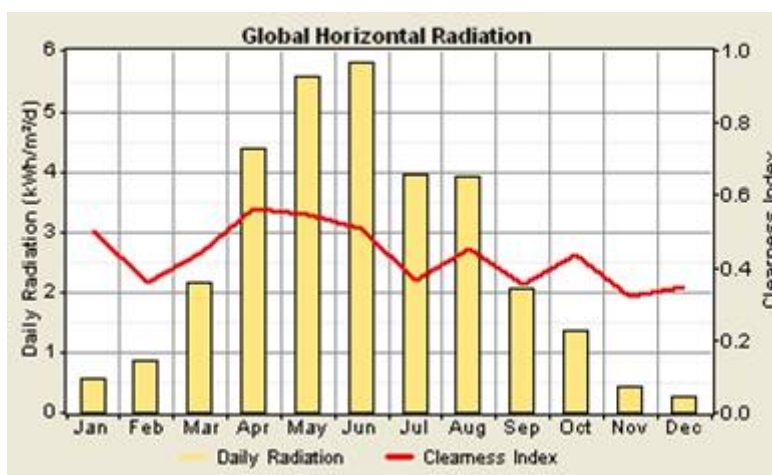
1. Kreditering från nätägaren. Lagstadgad, denna får man med automatik.
2. Elcertifikat. Tilldelning efter ansökan till Energimyndigheten.
3. Ursprungsgarantier. Tilldelning efter ansökan till Energimyndigheten. Oklart om de har något värde idag.
4. Elhandel. Idag är det lätt att hitta köpare. Se exempelvis Elforsk-rapporten "Elhandelsföretagens syn på handel med solcell" från juni 2011. Den vanligaste ersättningen för elhandel är Nord Pool timspris med 4 öre/kWh i avdrag (exempelvis använder Fortum, E.ON och Vattenfall denna modell).

5. Regeringen utreder frågan och säger sig vilja införa nettodebitering. Denna möjlighet borde därför komma inom något år eller så. Mälarenergi har infört nettodebitering från och med 1 januari 2012

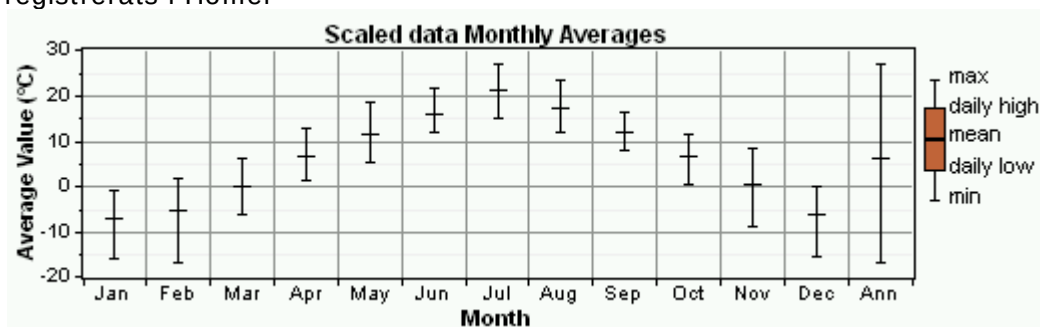
5.1.6 Solresurs och temperatur

Solresurs och temperatur är inhämtade från SMHI och är knutna till position latitud $59^{\circ} 10'$ norr och longituden $18^{\circ} 4'$ söder. Solinstrålning är hämtat från år 1993.

Temperaturdata bygger på dygnsmedel från år 2010 enligt avsnitt 3.2. Hur de registrerats i programvaran Homer visas i figur 5.6 och 5.7 nedan.



Figur 5.6 Exempel på hur dygnsmedelvärdet solinstrålning per månad registrerats i Homer



Figur 5.7 Exempel på hur dygnsmedeltemperatur per månad registrerats i Homer

5.2 Resultat känslighetsanalys

I Homer finns möjlighet att förflytta lasters medelvärden samt att införa känslighetsanalysparametrar. I känslighetsanalysen som utförts varierades kostnad för solcellsanläggning och elpriset.

Tabell 5.7 Resultat vid underökning av hur ökning av elpriset och reduktion av komponentpriset påverkar lönsamheten och optimal systemkonfiguration.

Prisökning el [%]	Optimal lösning utan reduktion av komponentpris			Komponentpris [%]	Optimal lösning med reduktion av komponentpris			Ekonomisk bidragande effekt
	Storlek på PV [kW]	Storlek på omriktare [kW]	antal batterier		Storlek på PV [kW]	Storlek på omriktare [kW]	antal batterier 24V(4*6)	
0	0,1	0,1	0	47	0,3	0,3	0	Positiv effekt vid reduktion av komponentpriset med 47 % av ursprungligt värde
50	0,3	0,3	0	10	0,3	0,3	0	Positiv effekt vid reduktion av komponentpriset med 10 % av ursprungligt värde
60	0,3	0,3	0	40	0,3	0,3	1	Positiv effekt utan reduktion av komponentpriset. Positiv effekt även med batteri om dessutom komponentpriset reduceras med 40 %
100	1,0	0,9	0	15	1,0	0,9	1	Positiv effekt utan reduktion av komponentpriset. Positiv effekt även med batteri om dessutom komponentpriset reduceras med 15 %

Resultatet vid studier med ökat elpris visar att det med nuvarande prisbild inte är ekonomiskt försvarbart att installera solceller. Det är först vid en ökning av elpriset med 60 % eller en reduktion av inköpspriset på komponenter med 47 % som det ger en ekonomisk positiv effekt. Produktionskostnaden för basfallet i vårt exempel är 11 kr/kWh.

Batterilagret laddas då produktionen överskrider belastningen. Batteriet laddas ur då produktionen är lägre än konsumtionen. På så sätt utnyttjas batteriet för att reducera kostnaderna för elen. I framtida studier kan batteriet även användas för att reducera den fasta anslutningsavgiften eller för att köpa och sälja el på en elmarknad med varierande pris eller som effektreserv. Med denna tillämpning av batteriet visar det sig först ge en positiv ekonomisk effekt om elpriset ökar med minst 60 % och komponentpriset samtidigt reduceras med 40 %.

För att undersöka effekten av inkomsten för överskottsel har en simulering även gjorts där försäljningspriset är satt till samma pris som vid inköp av el till fastigheten. Resultatet av denna studie visar att det med dagens elpris blir en ytterst liten skillnad mot resultatet utan inkomst för överskottsel vilket beror på att systemdimensionering blir så liten att man knappt har något överskott. D.v.s. anledningen är att det inte med dessa förutsättningar är ekonomiskt försvarbart att investera i en större solpanel. Sänks inköpspriset på de ingående komponenterna med 45 % kommer det bli ekonomiskt försvarbart att investera i större solcellspaneler. Programmet utser då de största solcellspanelerna på 5 kW till de mest lönsamma vilket beror på att solelproduktionspriset då blir lägre än köppriset för el. Det blir då lönsammast

med största möjliga solcellsanläggningen inom ramen för villkoren för nettodebitering.

I den använda programvaran finns möjlighet att testa och variera många olika parametrar som exempelvis storlek på och variation av belastningen och instrålad sol eller avskrivningstid.

5.3 Slutsats känslighetsanalys

Känslighetsanalysen med indata enligt ovan visar att det med dagens elpriser och pris på solcellspaneler och växelriktare för en normalstor villa med normal förbrukning i Mellansverige inte är ekonomiskt försvarbart att installera solcellspaneler. För att få ekonomisk positiv effekt måste priset på växelriktare och solceller sjunka med 47 % eller elpriset öka med 60 %. För att lösningen med ett batterilager skall vara att föredra jämfört med endast att ansluta till elnätet måste elpriset sjunka med minst 60 % och komponentpriset samtidigt reduceras med 40 %.

Studier avseende effekten av eventuell inkomst för överskottsel, med nuvarande elpriser, visar att det först är ekonomiskt försvarbart att investera i en "fullstor" (5kW) solpanel om inköpspriset på de ingående komponenterna reduceras till en nivå lägre än 45 % av nuvarande priser.

Syftet med känslighetsanalysen har varit att bygga ett modellunderlag för kommande studier samt att säkerställa att nödvändiga data för studien i etapp 2 är verifierade och finns att tillgå. För att få ett mer rättvisande resultat av en känslighetsanalys behöver en djupare studie med fler parametrar och fler förutsättningar genomföras. En djupare känslighetsanalys på fler parametrar och förutsättningar kommer genomföras i senare studier.

En sammanställning på olika intressanta studier presenteras i avsnitt 5.4 nedan.

Genom att kontrollera ett värde i kWh/kW från solcellerna är det möjligt att göra en rimlighetsbedömning av hur korrekt beräkningen avseende energin från solcellerna är. För ett oskuggat system orienterat med söder och en lutning i intervallet 30-50 grader bör man hamna mellan 900 och 1000 kWh_{AC}/kW. I vårt fall är värdet 1150 kWh vilket enligt denna kontroll är högt. Justering av detta kan göras med verkningsgrad nedsmutsning etc. och bör göras i del 2 av denna studie.

Homer simulerar inte elkvalitet. Analys av snabba dynamiska och transienta förlopp måste kompletteras med annan studie. Därför ger kombination med studien från Glava Energy Centre ett viktigt bidrag.

5.4 Tips och kommentarer inför kommande studier

Nedan är en lista på förslag och tips inför fortsatta studier som diskuterats under projektets gång:

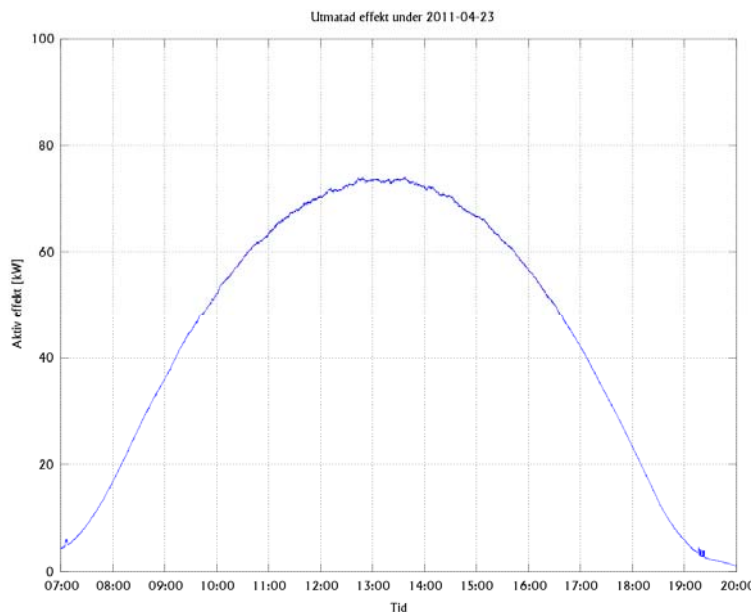
- Priserna på solcellspaneler sjunker hela tiden varför indata på dessa bör vid ny studie justeras med aktuella data
- Livstiden på komponenter kan varieras (känslighetsanalys)
- Flyttbar last och last från elbilar kan inkluderas och studier kan utföras på hur flytt av lasten i tid påverkar ekonomin i anläggningen
- Elcertifikat, kreditering från nätägaren, Ursprungsgarantier och elhandel kan inkluderas
- Undersökning av hur förväntad förändring av elpriset per år kommer påverka resultatet
- Indata för hushåll i tre regioner från norr till söder finns att tillgå och kan inkluderas
- Prisintervaller på komponenter kan införas för känslighetsanalys
- Analys av solel kan kompletteras med analys av vindkraft och kraftvärme i kombination med värmepump
- Större fastigheter med högre elförbrukning så som Kontorshus, hotell, hyresfastigheter och köpcentrum kan studeras där det kan vara mer lönsamt med egenproduktion
- Flytt av laddning och urladdning av ett batterilager kan inkluderas i en studie för att se hur ekonomin påverkas

6 Analys av mätningar från Glava Energy Center

Som en del i Etapp 1 av projektet har registreringar från Glava Energy Centers (GEC) solcellsanläggning analyserats. Ett antal olika solceller finns installerade, av olika fabrikat och storlek.

Nedan visas registreringar som gjorts på den aktiva effektutmatningen från en trefas Växelriktare under en dag i april 2011. Växelriktaren har en märkeffekt på 87 kW och är ansluten till 400 volt.

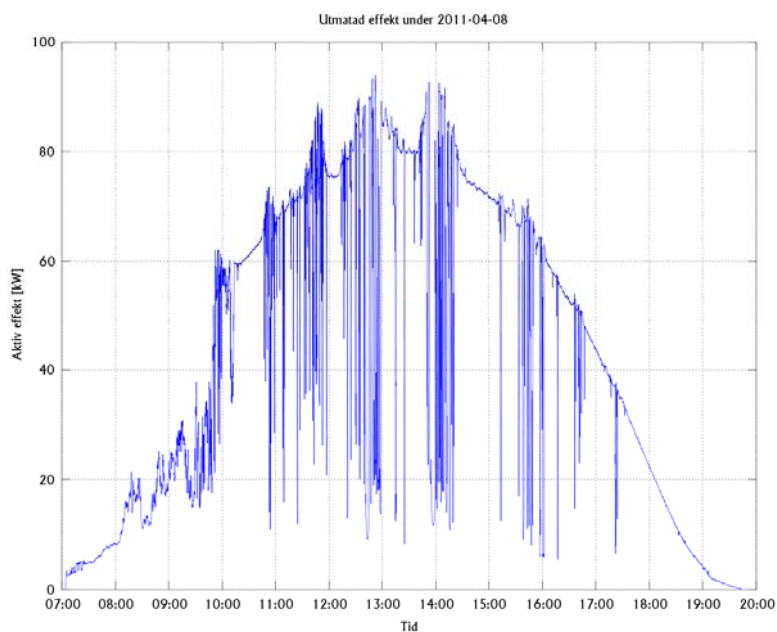
I figur 6.1 visas hur uteffekten från Växelriktaren varierar under en molnfri dag från klockan 7 på morgonen till klockan 8 på kvällen. Figuren kan användas för att verifiera simuleringar som planeras i framtiden.



Figur 6.1 Utmatad effekt under en molnfri dag i april.

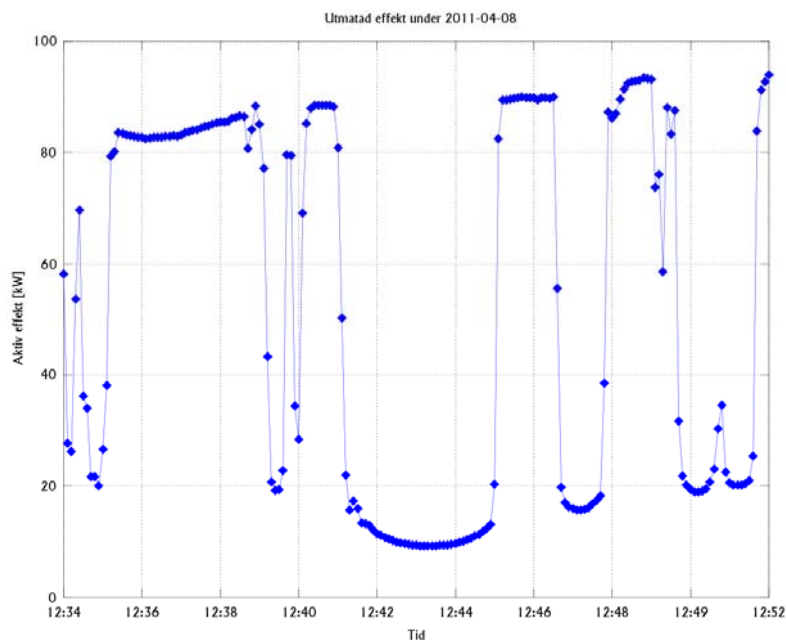
Enligt [2] kan vid växlande molnighet stora variationer i instrålning och därmed också stora variationer i utmatad effekt förekomma.

De största ändringarna av instrålning inträffar då himlen är nästan molnfri. Ett enda moln kan reducera den direkta instrålningen till noll, men kommer inte att påverka den indirekta instrålningen. Med ökad molnighet ökar andelen snabba variationer av elproduktionen men storleken på effektstegen minskar då molnen som inte skymmer solen bidrar till högre bakgrundstrålning.



Figur 6.2 Utmatad effekt under en dag med växlande molnighet i april.

Figur 6.2 och 6.3 visar hur uteffekten från Växelriktaren i Glava varierar under en dag med växlande molnighet.



Figur 6.3 Utmatad effekt under 18 minuter en dag med växlande molnighet i april.

De största effektvariationerna är av storleksordningen 80kW vilket motsvarar ca 90 % av Växelriktarens märkeffekt. Figuren är plottad med 20 sampel per

minut. 3 sekunder mellan varje sampel. De största effektstegen i figur 6.3 är på ca 75 kW (Märkeffekt Växelriktaren 87 kW) och sker på mellan 6 och 9 sekunder.

Enligt [2] så orsakar så snabba effektvariationer snabba pendlingar av spänningsnivån vilket möjligtvis skulle kunna resultera i flimmer (eng. flicker). Storleken på spänningsvariationerna beror på nätets utformning. Spänningsökningen som beror på injicerad aktiv effekt är proportionell mot resistiva delen av effektkällans impedans vid anslutningspunkten.

I lågspänningsanläggningar med ganska små produktionsenheter kan en betydande spänningsvariation ske.

I Sverige finns föreskrifterna: EIFS2011:2 avseende begränsningar av frekvens och storlek på snabba spänningsändringar. I [2] beskrivs några generella riktlinjer:

1. Om återkommande spänningsändringar resulterar i kortvarigt flimmer som överskrider värdet 1,0 över en längre period (en timme eller längre) kommer en majoritet av människor betrakta det som besvärande om glödlampor används. De flesta andra lamptyper är inte så känsliga, men detaljerade studier saknas.
2. Snabba spänningsändringar^{*1} som överskrider 2 % ger knappt märkbara ändringar i ljusintensitet på en glödlampa. Påverkan på andra lamptyper har ej studerats enligt uppgift från tillverkare.
3. Olika standarder begränsar antalet snabba spänningsändringar till att ej få överstiga 2 % mer än ett flertal gånger per dag.
4. Snabba spänningsändringar^{*1} som överskrider 5 % bör endast inträffa sällan ej mer än några gånger per år.

Slutsatsen som dras i [2] avseende snabba spänningsvariationer är att marginalen 5 % vid bortkoppling av hela anläggningen kan användas för att bestämma hur mycket solkraft som kan installeras på ett visst ställe i nätet.

**1 Ur Svenska Kraftnät 06-01-03 TR6-01 rev B Tekniska riktlinjer*

Snabba spänningsvariationer, ej flimmer

Maximalt tillåtna snabba spänningsändringar i anslutningspunkter till stamnätet redovisas i Tabell 1 som relativa spänningsändringar för olika händelsefrekvenser vid normalkopplat nät. Här avses tillåtna gränser för snabba relativa spänningsändringar som kan uppstå på grund av planerade snabba lastförändringar och som ej orsakats av åska, jordfel eller liknande oplanerade händelser.

Systemspänning 220-400 kV		
Relativ spänningsändring $\Delta U/U$ (%)	Händelsefrekvens f (ggr/tidsenhet)	Anmärkning
$\Delta U/U < 2 \%$	Behandlas som flimmer	
$2 \% < \Delta U/U < 4 \%$	$f = 4$ ggr/dygn	
$4 \% < \Delta U/U < 5 \%$	$f = 2$ ggr/år	(efter överenskommelse)
$5 \% < \Delta U/U$	$f = 0$ ggr/år	

Tabell 1. Maximalt tillåtna snabba spänningsändringar.

Kvarvarande stationära spänningsändringar efter in- och urkoppling av såväl kondensatorbatterier som reaktorer skall vara maximalt 3 %. Spänningssänkningar större än 10 % av U_c definieras som kortvariga spänningssänkningar.

7 Slutsatser

Det insamlade dataunderlaget kommer att användas som underlag till de studier som kommer genomföras i framtida projekt (Etapp 2). För lastprofiler avseende elbilar finns data i form av plottade figurer. Då det varit svårt att komma över timvisa mätdata för dessa har vi sammanställt en kontaktlista med de personer som kan kontaktas för att få tillgång till mer detaljerade data. I utförd känslighetsanalys ingick inte laddprofil för elbilar.

Känslighetsanalysen med indata enligt ovan visar att det med dagens elpriser och pris på solcellspaneler och växelriktare för en normalstor villa med normal förbrukning i Mellansverige inte är ekonomiskt försvarbart att installera solcellspaneler. För att få positiv ekonomisk effekt måste priset på växelriktare, solceller och batteri sjunka med 47 % eller elpriset öka med mer än 60 %. Analysen är endast gjord för att verifiera indata. För att få ett mer rättvisande resultat behöver en djupare känslighetsanalys med fler parametrar och fler förutsättningar genomföras.

Priset på solcellspaneler varierar (sjunker snabbt) vilket gör att det vid genomförande av etapp 2 av detta projekt bör göras en kontroll av priset på solcellspaneler och dess trender.

Slutsatsen som dras avseende snabba spänningsvariationer är att vid solcellsanläggningar bör ej spänningsvariationerna vid bortkoppling av hela anläggningen bli större än 5 %.

8 Referenser

- [1] Minutes of Meeting från workshop, STRI i Ludvika, 2011-04-28.
- [2] Math Bollen and Fainan Hassan, Integration of distributed generation in the power system, Wiley-IEEE Press, 2011, ISBN 978-0-470-64337-2
- [3] Tom Lambert, Homer Manual, Chapter 15, Micropower system modeling with Homer, 2006
- [4] Vattenfall AB, Driving a plug in hybrid, Mars 2011
- [5] David Steen, Scheduling charging of vehicles for optimal distribution systems planning and operation, paper 1104, CIRED 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, 6-9 June 2011
- [6] Kristina Karlsson, Joakim Widén, Hushållens elanvändningsmönster identifierade i vardagens aktiviteter, Working Paper 330, Department of Technology and Social Change, Linköping University, 2008.
- [7] Joakim Widén, System Studies and Simulations of Distributed Photovoltaics in Sweden, PhD Thesis, Department of Engineering Sciences, Uppsala University, 2010.
- [8] Pia Grahn, Mattias Hellgren, Joakim Munkhammar, "Photovoltaics, electric vehicles and energy users: A case study of the Royal Seaport, Visions and energy user expectations", Working Paper in preparation, The Energy Systems Programme, Linköping University.
- [9] SolarBuzz (2010). Prisdata. Tillgänglig: <http://www.solarbuzz.com/> [2011-10-19]
- [10] Solar Reviews (2010). *Trojan L16P*. Tillgänglig: <http://www.solar-review.com/reviews/read-review.cfm/id/8/> [2011-10-19]

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se