

Energilagring – fleksibilitet i elforsyning



Lagring af solcelle-el med batterier og varmepumpe

Af Iben Østergaard og Ivan Katic
Indpasning af yderligere vedvarende energi i elforsyningen kræver lagring og/eller fleksibel elforsyning. Dette projekt afprøver et system, hvor solcelle-el lagres på batterier og varme-tanke. Forskellige strategier for optimal lagring og mulighed for fleksibilitet i elforsyning afprøves.

Indhold

Vedvarende energilagre til fleksibel elforsyning	2
System til el-lagring og fleksibel el-forsyning	2
Lagringsmuligheder	3
Elforsk projekt om lagring af el fra vedvarende energi og fleksibel elforsyning	3
Formål.....	4
Dimensioneringsregler	4
Hovedkomponenter i projektet.....	6
Enkeltkomponenter	6
Princip for energimålingerne i projektet	9
Beskrivelse af typisk energistrøm:.....	9
Driftsprofiler	10
Styring via WEB portal	10
Status for projektet	11
Dataopsamling er etableret, og der er påbegyndt målinger for:	12

Projektet er finansieret af Elforsk (Udnyttelse af solcelle-el i enfamiliehus med batteri og varmepumpe, 249-063) og deltagerne: Lithium Balance, Nilan og Teknologisk Institut.

Teknologisk Instituts indsats er medfinansieret af Styrelsen for Forskning og *Innovation* via udviklingsaktiviteten A1. iBygning og bidrager til opfyldelse af flg. milepæle:

Intelligente systemløsninger (MP2.3 2017, MP2.2 2018);

Demonstration af intelligent energifleksibel styring (MP2.4 2017, MP2.2 2018);

Intelligente el-målere/smart grid interfaces i EFH (MP4.4 2017, MP4.3 2018)

Vedvarende energilagre til fleksibel elforsyning

Det er af flere grunde vigtigt, at en så stor del af energiforbruget - også i private husholdninger - tilvejebringes gennem vedvarende energi, såsom el fra solceller og varme fra varmepumper. Før i tiden kunne el fra solceller i private husholdninger "lagres" i resten af el-nettet over et helt år, men nye solcelleejere skal benytte strømmen her og nu, hvis de skal have fuldt økonomisk udbytte af deres anlæg - ellers må elektriciteten foræres væk eller sælges til markedspris, typisk 20 - 30 øre pr. kWh. Nye solcelleanlæg vil derfor formentlig alle blive udført med batteri eller anden energilagring. Alternativet er desværre, at private ikke vil bidrage optimalt med udnyttelsen af vedvarende energi, idet de vil udføre solcelleanlæggene så små, at de kun dækker ejendommens grundlast, for på den måde at undgå for stort el-overløb til nettet.

For at kunne udnytte så stor en del af den vedvarende energi som muligt, er det vigtigt at have en form for lagring - enten termisk lagring i varmepumpens tank eller kemisk lagring i batterier. Kombinerede anlæg, hvor solcellerne leverer el dels til husholdningsforbrug og varmepumpe, dels til lagring på batteri kan være med til, at private husholdninger kan udnytte mere vedvarende energi ved at kunne lagre energien og dermed være med til at udjævne el-behovet over døgnet; gennem et mere fleksibelt energibehov og fleksibel el-forsyning til nettet kan private husholdninger således være ikke bare energi-buffer i egen husholdning, men også indgå som buffer i et større el-system. Hvis solcelleel lagres på batterierne, til der er behov for el i "kogespidsen" omkring kl. 18 - uagtet, at der måske har været brug for el i husholdningen tidligere på dagen - så kan denne private elforsyning sikre, at der ikke behøves strøm fra nettet i netop den periode, hvor der er allermest brug for det i samfundet - og hvor det derfor i nær fremtid vil være de dyreste kilowattimer at købe. Dermed kan nuværende kapacitet i elnettet udnyttes bedre.

Sidste år producerede danske vindmøller godt 43 % af Danmarks elforbrug, og på enkelt-dage dækkede vindkraft hele vores elforbrug. Det er i sig selv fantastisk: I 70'erne sagde man at vindmøller ikke kunne producere 1 % af elforbruget - og i 80'erne sagde man, at der ikke kunne indpasses 10 % vindkraft i elforsyningen. Men vi har villet det anderledes, og teknologien har muliggjort det.

Når knap halvdelen af vores el produceres af vindmøller på årsbasis, betyder det selvsagt, at der i perioder er overskudsstrøm, og man har ligefrem måttet betale for at komme af med det. På disse vindrige og typisk sol-fattige dage kunne man forestille sig at husstands batterierne blev ladet op af vindmøllerne - til gavn for både hus-ejere og vindmølleejere.

System til el-lagring og fleksibel el-forsyning

En sådan fleksibel elforbrug og el-leverance kræver ikke blot de enkelte komponenter, men også samkøringen af dem, så det bliver et samlet system og det kræver en styrings-strategi, der kan styre lagringen og fordelingen af el efter behov. Og så kræver det en vis effektivitet i lagringen og transmissionen for at fidusen ikke går fløjten.

En mulig systemløsning er opbygget og bliver testet i et PSO-projekt "Udnyttelse af solcelleel i én-familiehus med batteri og varmepumpe". Projektet bygger på erfaringerne fra et tidligere projekt, og dette notat refererer til erfaringerne fra begge projekter.

I projektet arbejdes med de teknologiske muligheder for den enkelte husejer for at tilpasse forbrug og produktion til hinanden. På længere sigt, når der i samfundet er behov for det, fordi det mere er max-effekten, der er begrænsningen end det samlede elforbrug - og når der derfor kommer stærkt variable elpriser, kan de samme teknologier være med til at indpasse vedvarende energi i det samlede

energisystem. Der udvikles altså teknologier til energi-fleksibilitet i lille skala, som senere kan opskaleres og effektiviseres.

Lagringsmuligheder

Selvom batterier, særligt Li-Ion-typen, er faldet meget i pris, er det dog stadig en relativt dyr måde at lagre energien på. Som supplement – eller alternativt, kan man derfor med økonomisk fordel bruge energien til at producere varme og varmt vand, enten med en elpatron eller via en varmepumpe. Varmt brugsvand er der også brug for om sommeren, så med en fornuftig dimensionering vil man kunne udnytte en stor del af solcellestrømmen til dette formål.

I nedenstående tabel ses estimerede priser for lagring i hhv. batteri, varmepumpe og betongulv – resultaterne er fra det tidligere Elforsk projekt "Optimal udnyttelse af solcelle-el i énfamiliehus")

Tabel med priser for lagring af el (fra foregående projekt)

Fra slutrapporten:

Termisk energilagring er gennemprøvet og simpel teknologi og kan derfor være et godt alternativ til energilagring i batterier. Ulempen er naturligvis at energien kun kan hentes tilbage som varme, og er der ikke noget behov for varme eller varmt vand, vil energien til slut blive tabt til omgivelserne.

En beregning af muligheden for energilagring i eksisterende beholdere og konstruktioner viser følgende:

Simpel økonomiberegning pr kWh lager			
	Varmt vand	Batteri	Betongulv
Størrelse	200 liter	5 kWh	100 m ²
Udnytteligt el-optag pr. cyklus kWh	3 kWh	4 kWh	15 kWh
Ekstra investering pr. kWh lager kr.	1.333 kr.	5.000 kr.	267 kr.
Levetid år	15 år	12 år	30 år
Antal årlige cykler	250 cyklus	250 cyklus	150 cyklus
Total cykler i levetid	3.750 cykler	3000 cykler	4.500 cykler
Kr./kWh optaget el	0,36 kr./kWh	2,08 kr./kWh	0,06 kr./kWh

Ved termisk lagring er der kun regnet med en merinvestering på 4.000 kr. til ændret styring i en varmepumpe og der er regnet med, at el konverteres til varme via en varmepumpe med en COP på 3. Tabellen indikerer, at det er langt billigere at lagre i et tungt gulv, men da solcelleproduktionen i høj grad falder om sommeren kan der ikke gemmes så mange gange om året, som for de andre løsninger. Til trods for stor usikkerhed i antagelser falder batteriløsningen ud som den dyreste, men det er på den anden side den teknologi, som falder hurtigst i pris af de tre.

Elforsk projekt om lagring af el fra vedvarende energi og fleksibel elforsyning

På Teknologisk Institut er der i forbindelse med det omtalte ELFORSK projekt etableret et nyt kombineret energianlæg, som indeholder solcelleanlæg med tilhørende vekselrettere, batterilager med inverter til op- og afladning, varmepumpe til rumvarme med bufferbeholder samt brugsvandsvarmepumpe og ventilationsvarmepumpe. Der er etableret en "smart" styring og dataopsamling. Anlægget er også forberedt for energilagring i et tungt betongulv. Ved at opvarme gulvet med el fra overproduktion, kan man hæve temperaturen nogle få grader, som er nok til at holde varmen til næste dag.

Anlægget er en forbedret udgave af et tidligere anlæg, hvor de første erfaringer blev høstet med hensyn til dimensionering og drift af solcelle-el lagret på batteri og brugsvandsvarmepumpe.

Formål

Det første mål med projektet er at få systemet til at virke helt basalt. Det vil i store træk sige at kunne konvertere elektriciteten, så den kan lagres på et batteri, og tappes derfra igen, når der er brug for det samt at benytte elektriciteten til at opvarme varmepumpens vand til henholdsvis rumvarme og brugsvand. Dette har – som det beskrives senere været en uforudset stor udfordring.

Dernæst er et af formålene med projektet at undersøge, hvordan driften af det kombinerede anlæg skal være for at opnå den ønskede fleksibilitet og den bedste effektivitet. Det vil blandt andet sige: Hvilken styringsstrategi skal vælges på hvilket tidspunkt af døgn og året: En oplagt styring kunne være: Solcellerne producerer el til 1) husholdning, 2) dernæst varmepumpe 3) dernæst til batteri dernæst til andet termisk lager og først derefter sælges det til nettet. Men hvis solcellerne producerer el, mens strømmen er billig (eller i hvert fald ikke i spidslast-perioden) kunne en anden strategi være at lagre på batteriet før varmepumpens buffer er fyldt op, fordi det er vigtigt at have el fra batteriet til husholdningsel i "kogespidsen".

Dimensioneringsregler

Blandt andet udfra de ovenstående erfaringer udbygges et regneark, der kan hjælpe rådgivere, leverandører og forbrugere med at dimensionere solcelleanlægget, batterier, varmepumpe afhængigt af forbrug. Se screendump fra programmet nedenfor, og find programmet hér:

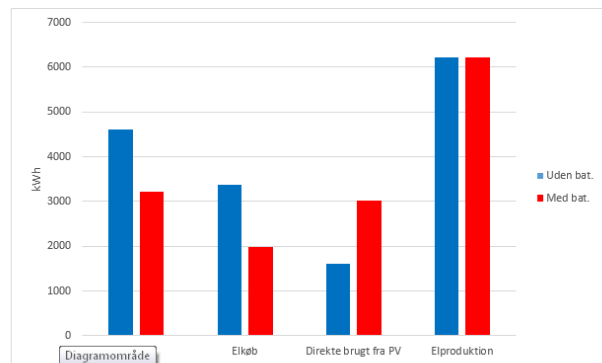
www.teknologisk.dk/_media/65569_Solceller%20og%20batterier_6_endelig.xlsx

Evt. til bilag i stedet:

Programmet er baseret på beregning af en række cases og er lavet så det dækker et bredt udsnit af familiers elforbrug. Der er indlagt typiske profiler for huse med elvarme og huse uden elvarme. Det skal bemærkes, at der bruges en mere optimistisk cyklus effektivitet (85 %) end der er målt i projektet, idet den tekniske udvikling og konkurrence forventes at føre til mere effektiv elektronik.

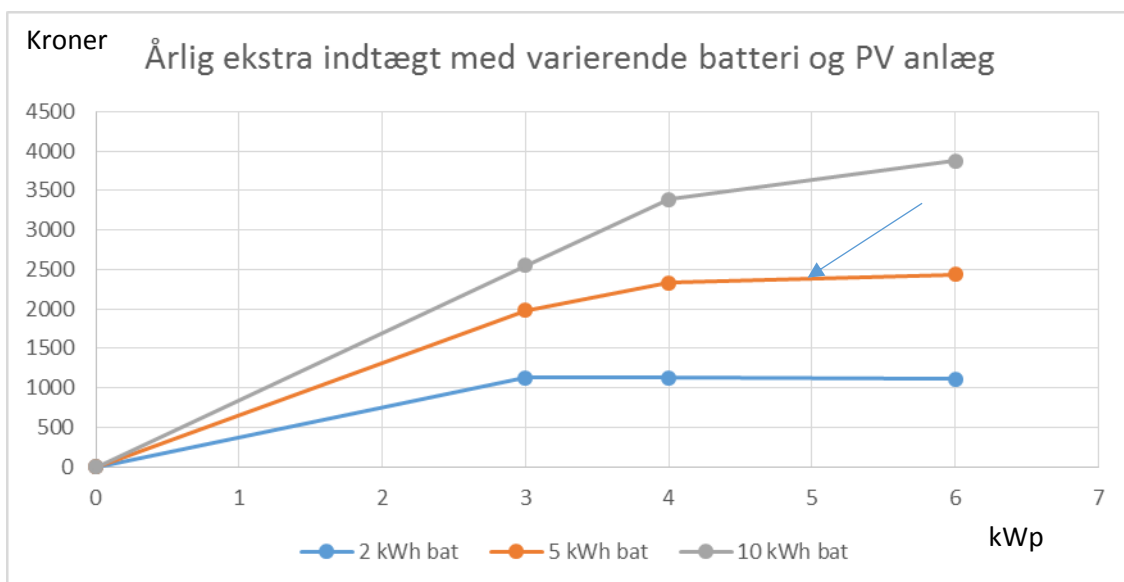
Ved hjælp af programmet kan man hurtigt få et overblik over, hvad det betyder, når man varierer størrelse af henholdsvis solcelleanlæg og batteri. Indtast årligt elforbrug, evt. elvarmeforbrug, købs- og salgspris på el samt pris på batterisystemet. Derefter kan der beregnes resultater på henholdsvis energi og økonomi på diverse kombinationer af størrelser på hhv. solcelleanlæg og batterisystem.

Overlagsberegning af batterisystem til solcelleanlæg



Figur 1 Screendump af beregningsværktøj

Eksemplet viser, at her stiger egetforbruget af el fra solcellerne fra ca. 25 % til 50 %. Med en prisforskel på 1,62 kr. på købt og solgt el giver dette batteri på 5 kWh en årlig besparelse på 2.258 kr., og er dermed tjent hjem på 11. år. I eksemplet nedenfor er omtrentligt det samme eksempel vist på grafen.



Figur 2 Eksempelberegninger for 3,4 og 6 kWp solcelleanlæg

I eksemplet er der regnet med en prisforskel på 1,7 kr. mellem købt og solgt el. Tager man f.eks. et solcelleanlæg på 5 kWp og et batteri på 5 kWh kan man tjene ca. 2.300 kr./år og prisen for batteripakken vil være ca. 25.000 kr. Der er således omtrent balance over en 10 års horisont, når der ikke indregnes ekstra drift og vedligehold. Med faldende batteripriser bliver teknologien derfor meget snart privatøkonomisk interessant.

Hovedkomponenter i projektet

- Eksisterende solcelleanlæg på Teknologisk Instituts energy-flex-house med to Danfoss Unilynx invertere á 3 kW
- SMA Sunny Island 2,3 kW batteriinverter/lader
- Lilon batteripakke 4,8 kWh
- SMA smart energy meter / home-manager. Elmåler med tilhørende styrbare stikkontakter
- Nilan varmepumpeunit (separate varmepumper for brugsvand og rumvarme)
- (ventilationsdel på varmepumpe)
- Varmeblæser til simulering af normalt elforbrug (styret minut for minut)

Enkeltkomponenter

Inverter (SMA-inverter)

Der benyttes en 2,3 kW SMA inverter (1-faset). Den kan køre op til 5,5 kW i 3 sekunder og på 3 kW i en halv time. Vi bygger således systemet med de til solcelleanlægget hørende Danfoss vekselrettere, idet ladeinverteren så bedre kan optimeres, så den ikke bliver for stor, og dermed får lav virkningsgrad). Inverteren er kombineret med en intelligent elmåler kaldet Home Manager 2.0, som kan styre op- og afladning på batteri og også varmepumpen som funktion af det aktuelle forbrug og produktion.

Dimensioneringen af inverteren er foretaget ud fra at batteriinverteren skal køre med høj belastning – og dermed god virkningsgrad - det meste af tiden, og den er derfor betydelig mindre end de to Danfoss solcelleinvertere. Det tidligere projekt har vist, at der er kun elforbrug højere end 2,3 kW i korte perioder og her kan inverteren kortvarigt overbelastes (op til 4,2 kW i et minut i teorien, men de få dage med solskin, der hidtil har været, har ikke vist, at der kunne lades med over ca. 2 kW Men som det ses at to kurver på figur x og xx gør det ikke noget, at der kun lades med 2 kW – selvom der samtidig eksporteres. I disse to tilfælde bliver solen ved at skinne, så batteriet bliver hurtigt fyldt op alligevel). (Det tidligere projekt viste nemlig, at inverteren kørte med meget lav virkningsgrad, når den ladede og afladede (?) med lave effekter. Og den havde altid et tomgangstab på 6 – 25 Watt ved standby og sleep-mode.



Batteri

En batteripakke af typen Lithium-Ion på 4,8 kWh, 48 V er blevet opgraderet med nyt batterimanagement system (BMS) af firmaet Lithium balance, som har leveret batterierne og er projekt-deltager. Batteriet er valgt relativt småt i forhold til en sommer-dagsproduktion fra solcelleanlægget for at dets kapacitet kan udnyttes så mange gange som muligt årligt. Der er i projektet udviklet en ny batteri-management styring, som sikrer at batteriet op- og aflades ideelt, dvs. ikke bliver overophedet, ikke får for store spændinger, ikke aflades eller oplades for meget. (Se status for projektet)

Varmepumpe

Varmepumpen er en GEO 6 kombineret rumvarme-, varmt brugsvand- og ventilationsvarmepumpe. Kabinettet indeholder således to selvstændige varmepumper med en fælles styring (CTS 700), der kan kommunikere med vores øvrige udstyr. Det er en 6 kW jord-varmepumpe med 250 liter buffertank og varmtvandsbeholder på 180 liter. Varmtvandsbeholderen er en integreret del, som opvarmes af ventilationsluften og bufferbeholderen til GEO 6 er til forvarmning af rumvarmen.

Elforbruget til varme og brugsvand måles på samme måler. Det er således ikke sikkert, at vi kan adskille elforbrug til ventilationsdelen fra elforbrug til rumvarme og brugsvand.



Nilan er en af mange varmepumpefabrikanter som har forberedt deres produkt for solcellestyring, således at varmepumpen kan køre op og ned i takt med, at der er overskudsstrøm til rådighed. I projektet er der koblet en ekstra bufferbeholder på varmeanlægget, så det både er muligt at lagre i det varme brugsvand og i vand til rumvarme. Det varme brugsvand opvarmes i en ventilationsvarmepumpe. Indtil videre benytter vi ikke ventilationsdelen efter hensigten, idet vi blot henter den varme luft fra rummet, hvor varmepumpen er installeret. Dette gør nok, at temperaturen i rummet er en anelse lavere end det ellers ville have været, men for ikke at komplicere sagen yderligere har vi besluttet, at dette blot kan simulere et hus med lidt større varmebehov end Energy Flex office (hvilket absolut er realistisk).

Med de to varmepumper kommer man op på at kunne afsætte ligeså meget el i det termiske energilag som i batteripakken.

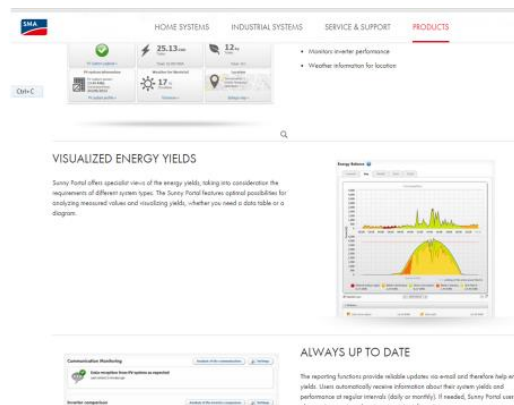
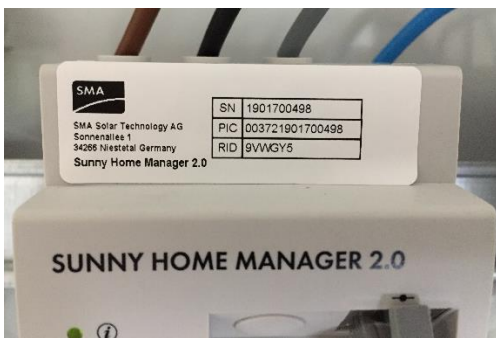
Varmepumpen skal evt. senere have installeret software fra Nilan, som gør, at varmepumpen kan indgå i en smartgrid-løsning, som blandt andet består i at varmepumpens normale styring kan overstyres via udefra

kommende signal. Det vil betyde, at varmepumpetemperaturen enten kan hæves i en periode, eller lagringen slukkes helt. (Dette skal i givet fald installeres sammen med Nilan).

Men indtil nu styres den fra web-portalen Sunny portal, der via et relæ tænder og slukker varmepumpen (altså on-off), så rumvarmedelen ikke kører i morgenspidsen fra 6 til 9.(on-off) Den er desuden sat til at slukke ved temperatur over 45 grader. (Temperatur høj/lav).

Avanceret el-måler – home manager

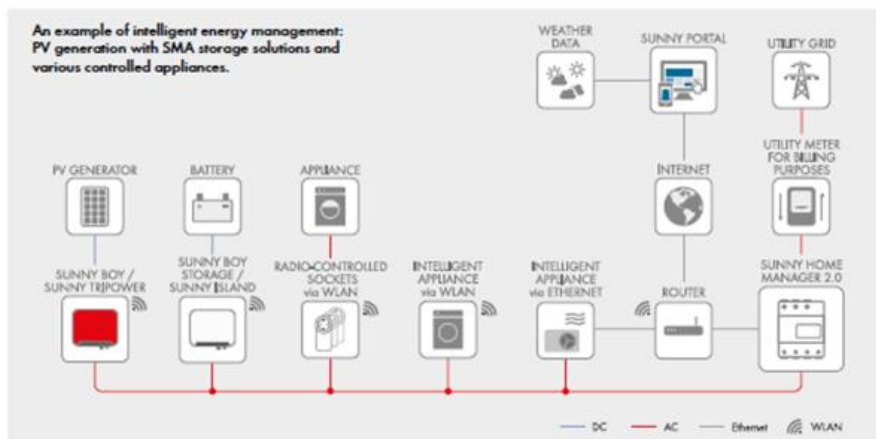
Den avancerede elmåler kommunikerer med en overordnet web-portal sunnyportal.com, hvor forbrugeren kan se de øjeblikkelige og historiske data for import og eksport. Data kan ses på www.sunnyportal.com, og et skærmbillede er vist nedenfor.



SMA Home Manager 2.0 = elmåleren....

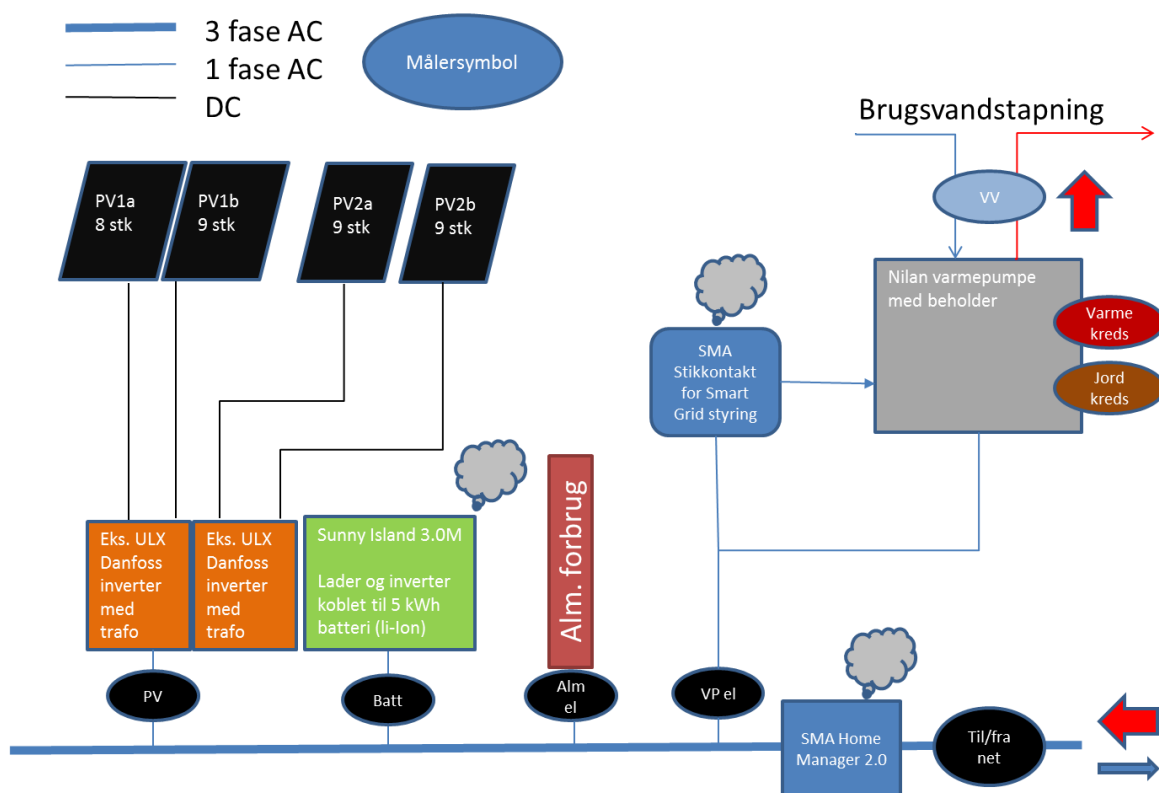
Denne enhed kan (ideelt set) tidsmæssigt styre hvornår batteriet skal op- eller aflades og hvornår forskellige forbrugenheder skal starte og stoppe via web-portal-programmering. Ifølge producenten kan den på intelligent vis sikre den mest effektive brug af solcelleelektricitet. Den kan estimere solcelleproduktion ved hjælp af vejrudsigten, køb og salg af el og kan give et overblik over alle energiforbrug i huset. Ved hjælp af lokal vejrudsigt sammenholdt med et målt husholdnings-forbrug kan den anbefale hvilken energiforbrugs/lagrings)strategi, der er fornuftig.

Styringen er baseret på kommunikation med batteriinverter og med specielle stikkontakter som kan tænde/slukke for udstyr. Da varmepumpen ikke direkte kan kommunikere med Home Manger, skal den enten kobles via stikkontakt, eller der skal etableres en styreledning fra en stikkontakt til varmepumpens egen SG styring. Måske kan det kobles på via Ethernet kabel? Vi har eksperimenteret med at sætte tidsgrænser ind for, hvornår vi vil aflade fra batteri (så der gemmes strøm fra batteri til kogespidsen fra 16 – 18), men det er indtil videre ikke lykkedes.



Princip for energimålingerne i projektet

Princip for energimålinger i EnergyFlexHouse



Figur 3 Anlæggets opbygning. Skysymbolet indikerer tilslutning til internet portal

Beskrivelse af typisk energistrøm:

Solcelleanlægget producerer jævnspænding, som vekslerettes i 2 Danfoss invertere. Herfra bruges det til almindeligt husholdningsforbrug. (Alm forbrug) Der benyttes en forbrugsprofil på 4000 kWh årligt, som simuleres med en el-blæser efter en typisk døgnfordelingsnøgle. Se afsnit om husholdningsforbrug. Varmepumpen varme-delen.

Varmepumpen er sat til at opvarme ved hjælp af el fra nettet med et bestemt tidsinterval, uanset om der er solcelle-el eller ej i disse intervaller.

Varmepumpen brugsvand

Der opvarmes brugsvand svarende til 4 personers varmtvandsforbrug – ca. 2000 kWh årligt. Det simuleres ved hjælp af et typisk tappeprogram, der tapper vandet fra brugsvandsvarmepumpen.

Hvis der er overskudsel fra solcellerne ensrettes det til jævnspænding i SMA inverteren, og lagres på batterierne. Når der er brug for det igen vekslerettes det i inverteren til forbrug.

Rækkefølgen og prioriteringen af hvornår der skal lades/hhv aflades batterier eller oplades varmepumpe i forhold til behov i henholdsvis husholdning eller elnet kalder vi for driftsstrategier – og når systemet er fuldt funktionsdygtigt skal det gerne kunne programmeres til diverse strategier, hvoraf vis skal afprøve de mest relevante.

Driftsprofiler

Der simuleres elforbrug i énfamiliehuset ved hjælp af et program, der igangsætter en varmeblæser svarende til et typisk el-forbrugsmønster og med forbrug på 4000 kWh husholdningsel årligt. Der leveres 2000 kWh til varmt vand fra brugsvandsvarmepumpen (*er det kWh til varmepumpen eller vand, der leveres*); tapningen af varmt vand styres af et tappeprogram, som indikerer et typisk tappemønster. Der bruges 10.000 kWh til rumvarme, hvilket skulle være typisk for en nyere bolig med 3 -4 beboere; varmepumpen styres af temperaturføler i buffer-tanken.

Styring via WEB portal

Systemløsningen er intelligent på den måde, at der er mulighed for avanceret styring på flere niveauer. Øverste niveau er en web-portal, som styrer det overordnede forbrug ud fra en række brugervalgte parametre, for eksempel tidspunkter, hvor varmepumpen godt må afbrydes.

Selve batteripakken er leveret af det danske firma Lithium Balance, mens tyske SMA har leveret den tovejs inverter som sidder mellem batteripakken og nettet. Man kan følge anlæggets tilstand via firmaets internetportal, hvor der også er adgang til at programmere forskellige funktioner, herunder tænde og slukke forskellige forbrugsgenstande på forskellige tidspunkter. Solcellemarkedet er p.t. det eneste større kommercielle marked for Smart Grid teknologi, netop fordi mange lande har indført voldsomt forringede afregningsforhold og dermed lagt op til udvikling af løsninger "bag elmåleren". I nogle lande er det slet ikke tilladt at sende strøm tilbage til nettet, og man kan derfor programmere sit anlæg til at prioritere hvad overskudsstrømmen skal bruges til, for eksempel i rækkefølgen: Start af vaskemaskine – varmepumpe – dyppekoger.

Et af de interessante aspekter er, at man med et batterilager og en intelligent styring kan minimere effekten både den ene og den anden vej og dermed skåne distributionsnettet mod store spændingsudsving. Det er ellers noget som kritikere af decentrale solcelleanlæg har fremført som et problem i svage net. Nye invertertyper kan desuden levere reaktiv effekt for netstabilisering, ligesom batteriet (hvis det var tilladt) også ville kunne lades fra nettet i lavlastperioder og sende strømmen retur ved spidslast. Man kan altså ikke bare udjævne spidserne, og dermed spare effekt på kraftværkerne, men også overflødigøre netforstærkning.

Status for projektet

Det har været forbundet med store vanskeligheder at få forbundet det samlede system. Det har således været en udfordring at få komponenterne koblet sammen, så der kan lagres el på hhv. batterier og varmepumpe-beholderne.

Det har voldt mangan hovedbrud og krævet mange arbejdstimer at få SMA-inverteren til at aflade- og oplade på batterierne. Og disse problemer er vel at mærke ikke udfordringer, som vi har forudset – men som det er typisk for udviklingsprojekter – helt uforudsete og tidskrævende problemer.

I hovedtræk drejede det sig om problemer med kommunikation mellem batteristyringen fra Lithium Balance og inverteren, som er af fabrikatet SMA.

SMA har således ikke givet lov til at bruge de ønskede kommunikationskanaler idet SMA-inverteren ikke er designet til at blive styret af en BMS (Batteri management system).

Dette har besværliggjort samkøringen af batteri og inverter, således, at det ikke før december lykkedes at lade på batteriet.

En vigtig erfaring for projektet er derfor: Gør jer klart – så tidligt som muligt i projektet, om leverandørerne er interesseret i samarbejde – eller i hvert fald, om de ikke vil obstruere et samarbejde (rent teknisk).

Dette er i virkeligheden én af de vigtigste erfaringer – også fra det førnævnte foregående projekt: ”brug så vidt muligt ”stumper” fra samme leverandør – eller leverandører, som har interesse i at samarbejde.”

En kvalificeret forudsigelse er, at netop leverandørernes interesse eller manglende interesse vil være afgørende for om sammensatte systemer bliver en succes –og bliver robuste nok til at kunne fungere i almindelige husholdninger. Specielt hvis systemerne skal fungere sammen ”over nettet”, er det vigtigt at sikre sig, at de involverede leverandører vil samarbejde – og et vigtigt element kunne være at undersøge markedet for andre leverandører. (Det er ikke ren konspirationsteori at forestille sig teknologi-besiddere, som ikke ønsker at gøre deres produkter egnede til samspil med andre dele af teknologikæden, såsom microsoft, apple, google.) Det er i den forbindelse vigtigt, at forbrugeren – kunden har et sted at henvende sig, når der er systemnedbrud. Et sted, som ikke bare sender aben videre til én af (under)-leverandørerne.

Nu har op- og afladningen på batteriet har været prøvet, der er testet driftstilstande – overspænding og temperatur. De alarmer, som er til rådighed i inverteren (SMAs CAN protokol), er programmeret og systemet er nu funktionelt, således at der sker automatisk op- og afladning på batteriet.

Der bliver nu opsamlet måledata, både på teknologisk.datalog.dk samt på home-managerens portal sunnyportal.com., og disse data vil vi nu gå i gang med at analysere; men så længe der ikke er meget sol, kan der ikke analyseres på den udfordring, som hele projektet er bygget op omkring: At benytte solcelleel bedst muligt i prioriteret rækkefølge til husholdningsforbrug, varmepumpe og lagring på batteri.

Nedenfor ses data for én af de korteste dage i året, lørdag d. 16. december, hvor der endelig var lidt sol, således at der var elektricitet i overskud til at lagre på batteriet – og det forløb uden driftsproblemer.

Den mørkegrønne kurve er solcelleproduktionen, som altså starter ca. kl. 9 om morgenen – efter mange døgn uden sol. I begyndelsen bruges der både el til husholdningsforbrug i morgen-spidsen (lilla kurve) og til opvarmning af varmepumpe-vandet (blå kurve). Men allerede ved 10-tiden lades der på batteriet med den maksimale effekt på godt 2 kW (lysegrøn kurve), og det ses på den negative lilla kurve, at der produceres mere el, end der kan lagres på batteri, og det sælges derfor til nettet. (måske kunne lagrene i

varmepumpen opvarmes yderligere – eller det termiske lager i gulvet? Dette kunne være en oplagt styringsstrategi. I hvert fald kunne det sikres, at varmepumpen var fuldt opladt inden solnedgang)

Efter solnedgang tømmes batteriet, når der er husholdningsforbrug eller forbrug til varmepumpen. Og fra kl. lidt før 18 købes el fra nettet. Men dette viser, at selv på en af de korteste dage i året – kan solcelle-el fra batterier være med til at udjævne kogespidsen (Sen-eftermiddagsforbruget).

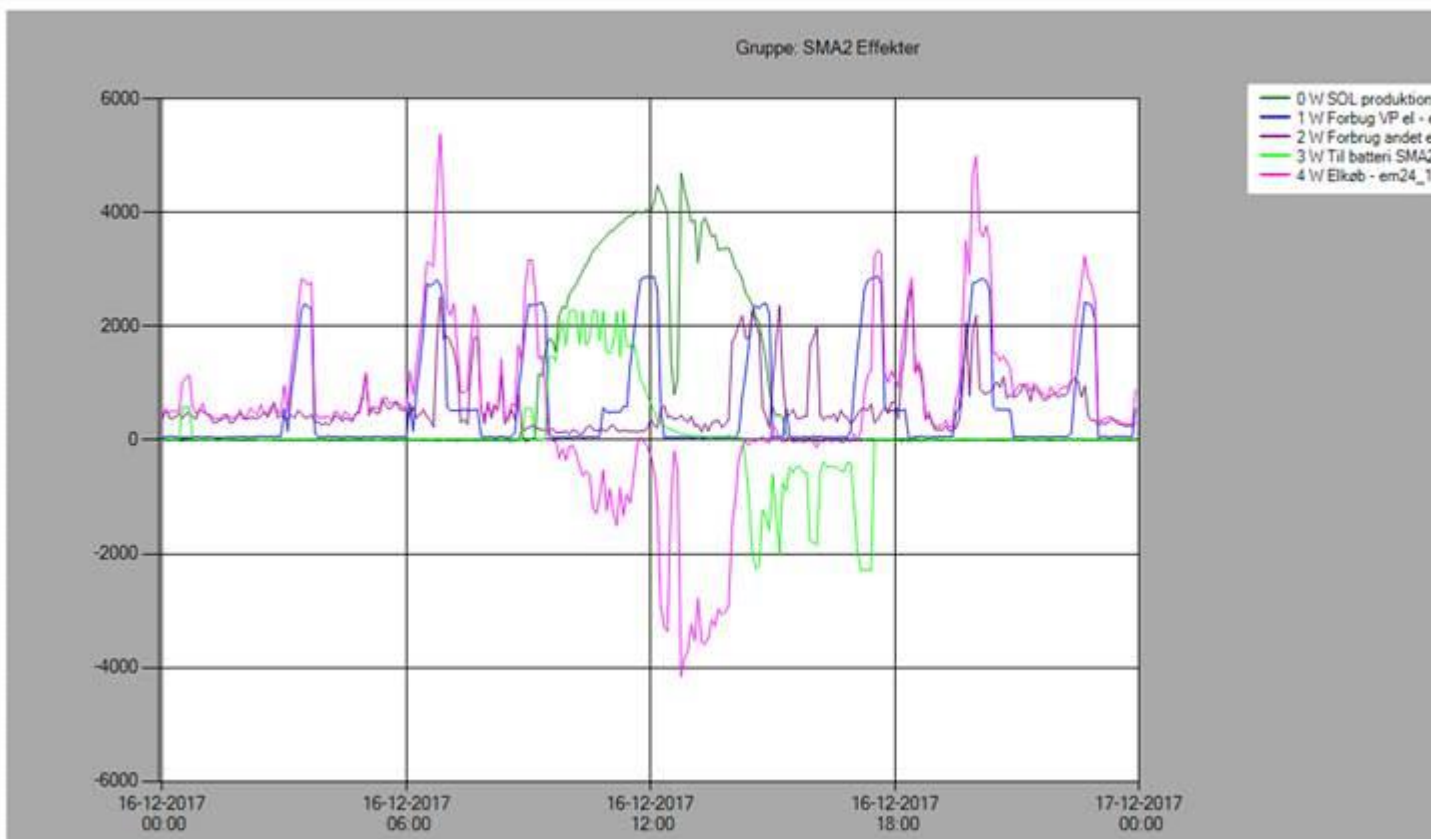
For øjeblikket er styring af varmepumpen ved at blive implementeret, således at den kan optage mest mulig el fra de 2 x 3,5 kWp solcelleanlæg der findes i EnergyFlexHouse på Teknologisk Institut. Når anlægget kommer i drift, vil det kunne ses på SMA dataportalen (dog ikke produktion fra solcelleanlægget).

Dataopsamling er etableret, og der er påbegyndt målinger for:

- Solenergi fra PV - mørkegrøn
- Elforbrug til husholdning - lilla
- Elforbrug til varmepumpe rumvarme - blå
- Elforbrug til varmepumpe brugsvand (Dog måles de to samlet) blå
- Elkøb og Elsalg til nettet. Lys-lilla
- PV-el til batteri. Lysegrøn

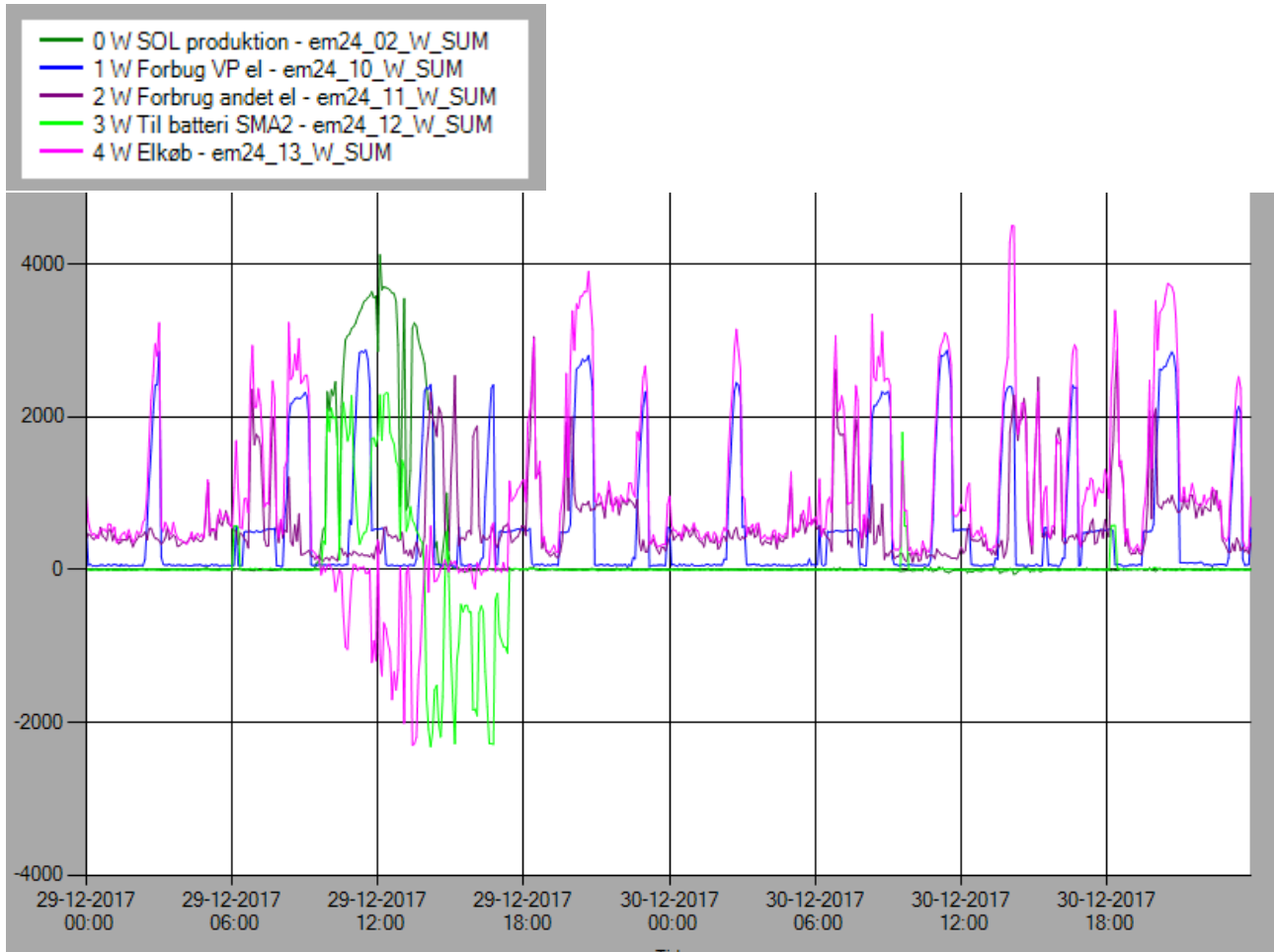
[Menu](#) [Log ud](#) [Administration](#)

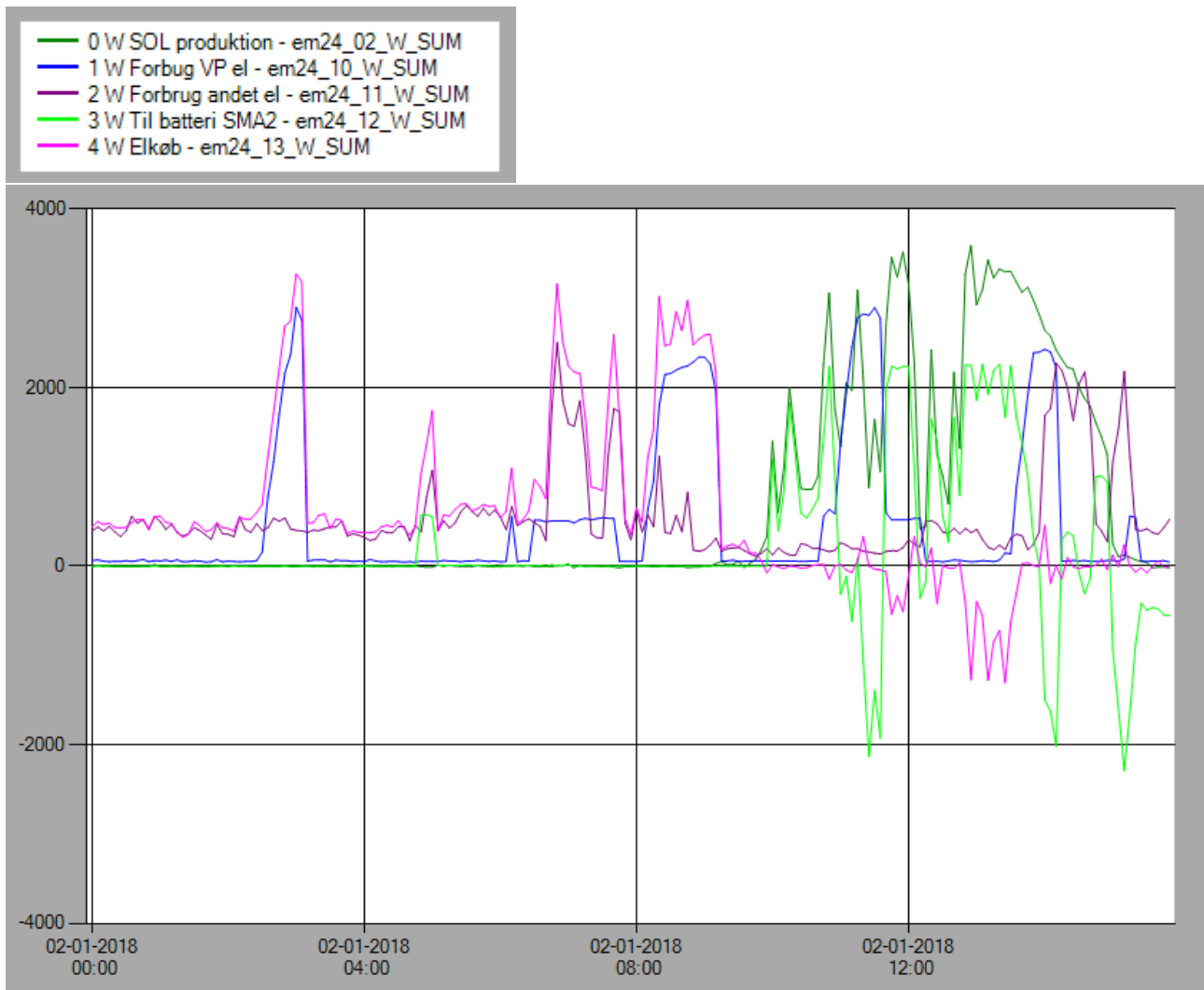
Måleprojekt: TI datalogger 2



Data fra den første dag med sol efter at det blev muligt at op- og aflade batteriet. Det ses at selv på én af de korteste dage af året produceres der langt mere solenergi, end der kan lagres på hhv. batterier og benyttes i husholdning og til varmepumpen.

Nedenfor: Data for et døgn uden sol og et døgn med sol den 29. og 30. december.





Data fra 2. januar – en dag med sol og skyer. Der lades op på batteriet til kl. ca. 11, hvor der er forbrug til varmepumpen, som dels kommer fra solen, dels lades fra batteriet. Kl. 12 ses det, at batteriet har en begrænsning på godt 2 kW, så en del solcelle-el sælges til nettet. Kl. 2, hvor der både er forbrug fra varmepumpe samt andet elforbrug rækker solcellerne ikke, og der tappes fra batteriet. Det ses, at i 2 kW-forbrugs-spidserne kl. ca. 14 og 15 stadig dækkes af solcelle-el.

Fremfor alt ses det, at der er meget lille forbrug fra nettet denne 2. januar, og relativt lille salg til nettet i forhold til solcelle-produktionen.