

Solcelleelektricitet til énfamiliehus

Mulighederne for lagring af solcelle-elektricitet i hhv. batterier og brugsvandsvarmepumpe undersøges i et projekt, som gennemføres i et samarbejde mellem Teknologisk Institut og Firmaet Lithium Balance. Fuldskalaforsøget, som er støttet af Elforsk, udføres på Teknologisk Instituts Energy-Flex-hus, hvor der er monteret to solcelleanlæg på hver 3,5 kW.

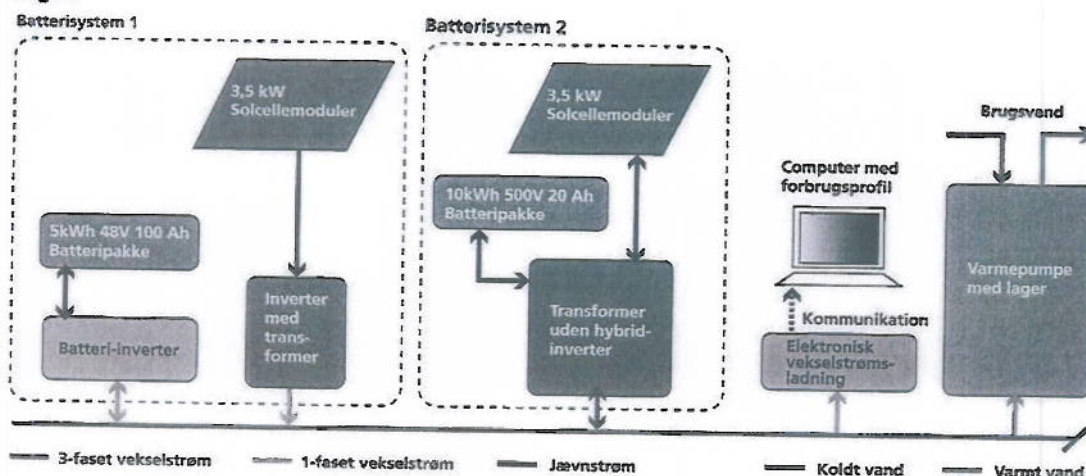
Et typisk 6 kW solcelleanlæg til et enfamiliehus producerer på en solrig sommerdag 20-30 kWh – med en effekt på 4-6 kW i de timer, hvor solen står højest på himlen. En almindelig families forbrug på en gennemsnitsdag er derimod kun ca. 10 kWh til husholdningsforbrug (køl, frys, lys, vaskemaskiner, fjernsyn) og omkring 5-10 kWh til varmt brugsvand. Dette forbrug ligger imidlertid for en stor dels vedkommende uden for den periode, hvor solcellerne producerer mest.

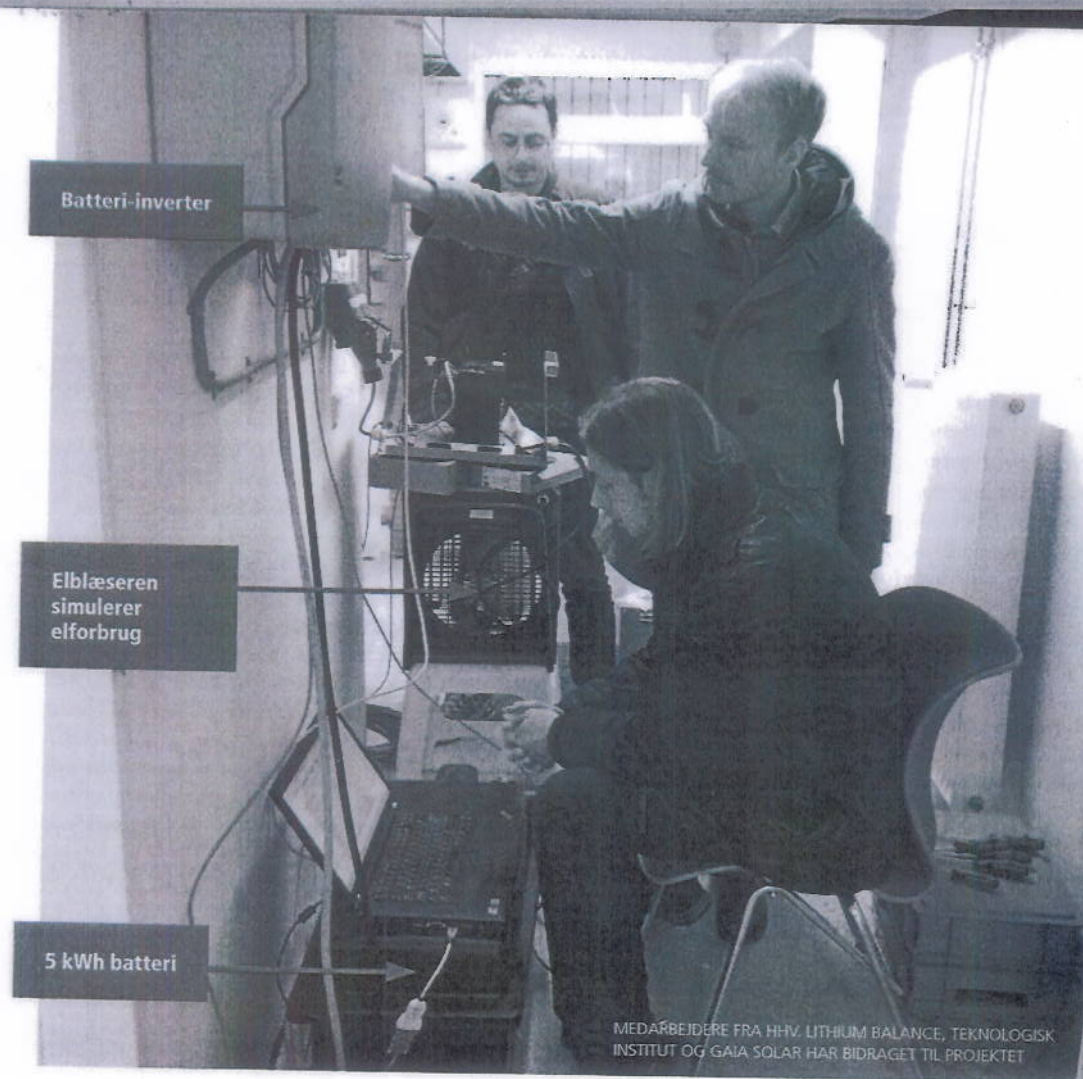
Udfordringen er derfor at gemme solcelle-el fra midt på dagen, til der er brug for det – enten samme døgn eller senere, og derved øge egetforbruget, altså mindske salget af elektricitet til nettet. Dette er specielt blevet aktuelt, fordi prisen, der betales til solcelleejeren, for den el, der sælges til nettet, bliver mindre år for år. En ganske lille del af forbruget kan skubbes (vask og opvask fx), men ellers er det en mulighed at lagre solcelle-elektriciteten på batterier og/eller i form af varmt vand opvarmet

Fig. 1

Batteri 10 kWh	Bly syre	Lithium Ion	Varmepumpe
Pris pr. kWh	4,44 kr./ kWh	2,88 kr. kr./ kWh	0,62 kr./kWh

Fig. 2





MEDARBEJDERE FRA HHV, LITHIUM BALANCE, TEKNOLOGISK INSTITUT OG GAIA SOLAR HAR BIDRAGET TIL PROJEKTET

af en varmepumpe. Eventuelt kan energien også bruges som gulvvarme i overgangsperioden (forår – efterår), og til opvarmning af fx fugtige, kolde kældre om sommeren.

Projektet skal bl.a. undersøge hvor stor en del af solcelle-elproduktionen, der kan bruges hér og nu i en typisk husholdning, og hvor stor en del man kan lagre og benytte på batterier eller som brugsvand i en varmepumpe.

Batteri og/eller varmepumpe

Batterier er under kraftig udvikling, også prismæssigt, og ved tilførsel af ny viden i form af fx smart styring af lagring og forbrug kan lagringssystemet optimeres teknisk og energimæssigt. Prisen pr. lagret kWh på Lithium-ion-batterier er med de viste forudsætninger beregnet til 2,88 kr. Se fig. 1.

En anden mulighed er at benytte og/eller lagre solcelle-el som varme – enten til varmt vand eller rumopvarmning. For at gøre det mere effektivt kan der benyttes en varmepumpe, og her er lagerprisen ved merinvestering for styring til varmepumpen omkring 62 øre pr. kWh – altså billigere end batterier indtil videre. Men så har man heller ikke muligheden for at omsætte varmen til el igen. Og med

et solcelleanlæg på blot 3 kW vil der være brug for både batterier og varmepumpe til at oplagre den energi, der produceres på en solskinsdag.

Projektet afprøver forskellige muligheder for benyttelse af solcellestøm i et énfamiliehus i forskellige sammenhænge afhængigt af, om det er et allerede eksisterende solcelleanlæg med vekselretter, eller et nyt solcelleanlæg.

Udbygning af almindeligt solcelleanlæg med batteri

Den ene forsøgsopstilling - (PV Battery system 1 på figuren) – består således af et "almindeligt" solcelleanlæg på 3,5 kW med vekselretter (Danfoss inverter med transformer), som jo omformer jævnspændingen fra solcelleanlægget til vekselspænding. Denne vekselstrøm kan nu benyttes direkte i husholdningen, mens overskudselektricitet omformes til jævnspænding i en batteri-inverter for at kunne lagres på lithium-ion-batteriet. Lithium-jern-fosfat batteripakken er på 5 kWh, men kan effektivt lagre 4 kWh, idet det går meget ud over levetiden, hvis det aflades til mindre end 20%. Spændingen på batteripakken er 48 V, og der kan lagres 100 amperetimer. Op- og afladning

af cellerne i batteripakken styres af et batteri-management system, udviklet til kommercielt niveau af firmaet Lithium Balance, som også har leveret selve batteripakken.

Forsøget skal bl.a. vise, hvor stor effektiviteten er ved denne omformning til først jævnspænding til batteri, og dernæst fra batteri til omformning i samme inverter til vekselspænding, når der senere på dagen er behov for elektricitet i husholdningen. Styringen af systemet skal sikre, at elektriciteten hhv. bruges og lagres efter den ønskede prioritering.

Forbrugsbehovet skal simuleres ved hjælp af en typisk dagsforbrugsprofil for en familie med et typisk elforbrug og elforbrugsmønster – afhængig af årstiden. Dette forbrug simuleres så af en el-blæser. At finde en egnet – typisk forbrugsprofil har været overvejet nøje; det dur nemlig ikke at tage et gennemsnit af en masse forbrugsprofiler – idet toppene så bliver udjævnet, og forsøget skal også give erfaringer om, hvordan det kan håndtere de peaks, der jo er i en husholdning.

I projektet skal der udarbejdes et program, som skal bruges af husejer eller husejers rådgiver til at vurdere, hvor stort et batteri skal være for at opnå et vist egetforbrug – altså den andel af sol-celle-energi som kan bruges direkte i husholdningen eller lagres på batteri. Ud fra data om årsforbrug, solcelleanlæggets størrelse, retning og hældning fås så forslag til diverse batteristørrelser og deraf

følgende egetforbrug. I første omgang udføres ikke økonomiberegninger på forslagene, idet det afhænger af afregningspris for el m.m.

Batteri til solcelleanlæg med hybrid-inverter

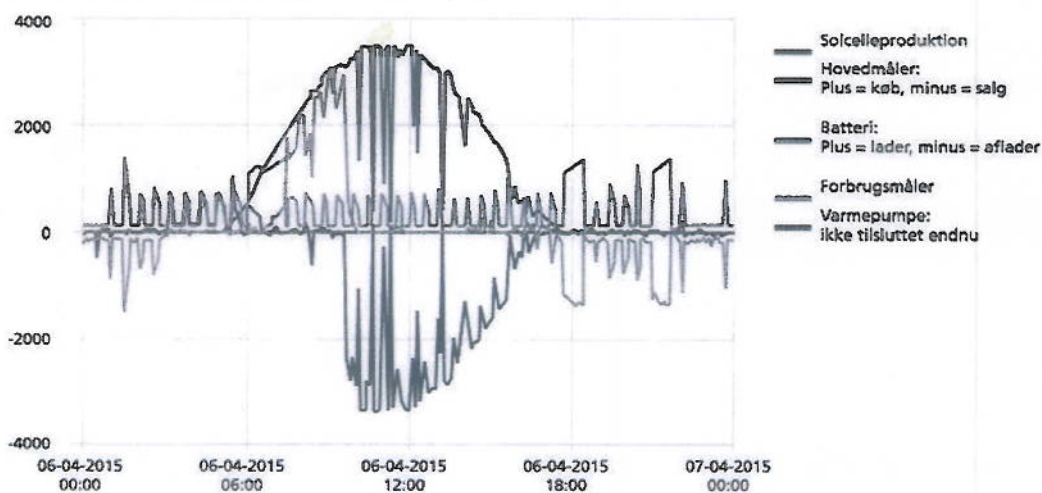
Projektet skal også gennemføre forsøg med en hybrid-inverter, som kan lade jævnspænding direkte fra solcellerne på batteriet, og derefter veksle til forbrug og til salg til el-nettet. Denne lader/inverter er tilsluttet et 10 kWh lithium-ion-batteri, som effektivt kan lagre ca. 8 kWh i alt. (PV Battery System 2 på fig. 2).

Forsøg med varmepumpe

Det 300 liter brugsvandslager i en jordvarmepumpe benyttes i forsøget til at lagre overskuds-el fra solcellerne. I forsøget opvarmes vandet fra 25 grader til hhv. 50 og 60 grader. Der simuleres ved hjælp af et tappeprogram brugsvandsforbrug for en familie på 4 personer med "typisk" varmtvandsforbrug på cirka 200 liter pr. døgn. Projektet skal bl.a. høste erfaringer om virkningsgrader ved en sådan opvarmning af brugsvand.

Projektet løber indtil foråret 2016.

Iben Østergaard, Teknologisk Institut, er projektleder på projektet, som er støttet af Elforsk.



På denne figur ses forløbet på en solskins-april-dag; Den mørkegrønne kurve viser solcelleproduktionen. Indtil ca. kl. 7 er forbruget (lilla) lidt større end solcelleproduktionen, så denne del må købes fra nettet (tilsvarende blå kurve nedenfor), idet batteriet er tomt kl. ca. 03 om natten (lysegrøn). Mellem 6 og 7 leverer solcellerne således en del af forbruget i huset, mens resten købes fra nettet. Fra ca. kl. 7 producerer solcellerne mere end der forbruges, og den overskydende solelektricitet lagres på batteriet (lysegrøn) indtil det er fyldt op med 5 kWh ca. kl. 11. Derefter sælges solcelleproduktionen (blå negativ kurve) indtil kl. ca. 17, hvor forbruget er større end solcelleproduktionen. Herefter tappes fra batteri indtil midnat – svarende til forbruget. I dette projekt købes således ikke el fra nettet, så længe der er el på batteriet. Styringen kan tænkes udbygget, så der fx kan købes el fra nettet ved billig vind- eller vandkraft. (Den typiske dagsprofil for én familie er ikke sat ind endnu. Det hér viste forbrug er gennemsnit for en række forbrug)

Dansk 'Tesla-batteri' snart klar til salg

Til årsskiftet vil det være muligt at købe et danskudviklet lithium-ion-hjemmebatteri, så solcelle-ejere ikke behøver at sende nær så meget el ud på nettet.

Af Bjørn Godske  Følg @motorbloggen 28. maj 2015 kl. 11:09



Mens Teslas karismatiske topchef, Elon Musk, kunne stole sig i opmærksomheden ved præsentationen af et kommende hjemmebatteri, så har den danske virksomhed Lithium Balance og Teknologisk Institut i stilhed gået og udviklet en værdig konkurrent.

Omkring 1. januar 2016 vil de første modeller kunne sendes ud af døren, og selv om det er cirka et halvt år senere end Tesla, så er Lithium Balances administrerende direktør, Lars Barkler, ikke nervøs for den amerikanske konkurrent.

Det skal her understreges, at selv om Tesla har meldt nogle priser ud på deres to batterimodeller, så er det usikkert, hvad den endelige pris på det danske marked ender med at blive:

»Vi har sammen med vores medejer Dong regnet på prisudviklingen for batterier, og der er ikke noget, som tyder på, at vi ikke skulle kunne konkurrere. Sådanne priser så ud i 2013, hvor vi undersøgte det nærmere, så ville det være muligt at bygge et anlæg med inverter og installation til 4.000 kroner pr. kWh. Beregningerne viste, at den optimale anlægsstørrelse ville være 4 kWh til et solcelleanlæg på 6 kW,« siger Lars Barkler.

Læs også: [Lidt om priser på energilagring](#)

Det har ellers især været den rene pris på batterierne, som har stået i vejen for en bedre udnyttelse af de mange solcelleanlæg, der over de seneste par år er installeret i Danmark. Især de nye afregningsregler, hvor ejerne skal betale for at bruge elnettet som lager, har fået mange til at se sig om efter et alternativ.

Også de faldende tilskud til el fra solceller vil forbedre økonomien i en batteriløsning, forklarer Lars Barkler.

Læs også: [Svinghjul gemmer på strømmen](#)

Samtidig er prisen for de kompakte lithium-ion-batterier over de seneste par år faldet, og det forventes, at prisudviklingen vil fortsætte nedad. Samme udvikling har solceller gennemgået, hvor prisen er faldet med 80 procent over en relativt kort årrække. Fagfolk har ikke udpeget hindringer for, at batterier ikke skulle opleve samme udvikling.

Lang batterilevetid er joker

På Teknologisk Institut i Taastrup har et 5 kWh batterianlæg været i test siden december 2014. Batteriet er forbundet til et solcelleanlæg på testhusets tag, og forbruget bliver simuleret ved hjælp af nogle store varmeblæsere, der tændes og slukkes efter en teoretisk forbrugskurve.

De foreløbige resultater viser, at batterier op- og aflader 1,15 gange pr. dag i gennemsnit. Den bedste udnyttelse fås på dage med vekslende skydække. Det fortæller Iben Østergaard, der er leder af projektet på Teknologisk Institut:

»På dage med meget sol, bliver lagret hurtigt fyldt op, og solcellerne må i stedet levere til nettet, hvis der ikke er nok forbrug,« fortæller hun. Med de data, skyer og sol veksler, er der rigtig gang i batterit. Det op- og aflades heftigt, og en langt mindre andel af solcellestrømme sendes ud på elnettet. Dermed sparer ejeren den ekstra omkostning til systemoperatøren.

Jern-fosfat i stedet for nikkel-mangan-kobolt

El skal på lager: Med mere og mere vind- og solkraft i elnettet stiger behovet for at kunne lagre el. I denne miniserie præsenterer vi nogle af de el-lagringsteknologier, der allerede i dag er på markedet eller er på vej.



Administrerende direktør for Lithium Balance Lars Barkler viser her forsøgsopstillingen af et hjemmebatteri i Teknologisk Instituts prøvhus i Taastrup. Selve batteriet er den sorte kasse nederst i billedet. Den består af et 4 kWh LiFePO₄-batteri. Den gule boks på væggen er inverteren fra tyske SMA Solar Technology. De røde varmeblæsere i baggrunden simulerer forbruget hos en almindelig familie. (Foto: Bjørn Godske)

Anlægget fra Lithium Balance adskiller sig også fra Teslas designede produkt på selve batteriteknologien. Tesla bruger nemlig en version baseret på nikkel-mangan-koboltoxid (NMC):

»Vi har valgt at arbejde med lithium-jern-fosfat-batterier. Det giver en række fordele i forhold til levetid, som er den helt store *dark horse*, når vi taler batterier,« siger Lars Barkler.

Læs også: [Togvogne lagrer sol- og vindenergi på et bjerg](#)

Fordelen ved at bruge jern-fosfat-batterier (LiFePO₄) er, at selv om kapaciteten efter cirka 2.000 op- og afladninger falder med cirka 20 procent, så falder den sandsynligvis ikke meget mere. Lithium Balance samarbejder med en kinesisk batteriproducent, og de har testet batteriet med helt op til 6.000 op- og afladninger og kun fundet et beskedent yderligere tab af kapacitet:

»Derfor tror vi også på, at vi formentlig kan få batterianlægget til at fungere i hele solcelleanlæggets levetid - altså 25 år,« siger Lars Barkler.

Det er også blevet undersøgt, om kommende kunder ville være interesseret i at købe et anlæg med et udtjent batteri fra en elbil. Her svarer overraskende mange, at så længe leverandøren kan garantere den oplyste kapacitet, så er det ikke noget problem, at batterierne tidligere har fungeret i en elbil.

Inverterer og standarder skal optimeres

Lige nu er virkningsgraden på batteriet cirka 75 procent. Men det skyldes kun, at der køres med to invertere. Den ene er en standard-inverter koblet direkte til



I det aktuelle anlæg benyttes to invertere. Den, som styrer batteriet, er fra SMA Solar Technology. Inverteren, som styrer solcellerne, er fra Danfoss. I fremtidige anlæg er det planen at bruge en enkelt hybridinverter, som både er i stand til at sende el fra solcellerne ud på nettet, ned i batterierne eller til husets forbrug.



solcelleanlægget. Den anden op- og aflader batteriet.

Lars Barkler vurderer, at hvis de to invertere erstattes af en såkaldt hybridinverter, som både er i stand til at sende el fra solcellerne ud på nettet, direkte til husholdningen og ned i batteriet, så vil virkningsgraden snige sig op på 90 procent.

Læs også: [Teslas nye energilager vil tvinge batteriprisen helt i bund](#)

Grafen øverst til venstre viser solcelleproduktion og opladning af batteri på en solskinsdag. Nederst til venstre ses husstandens forbrug fra batteriet, samt hvor meget der skal sælges videre til nettet. Til højre ses samme data for en dag med både sol og skyer. Det ses, at på en skyet dag kan husstanden langt bedre udnytte solcellerne til eget forbrug. (Foto: Lithium Balance)

Standarder er et andet punkt, hvor der mangler udvikling, forklarer Lars Barkler:

»Vi skal have styr på sikkerhedsstandarderne. Problemet er bare, at der ikke er taget stilling til, hvilke standarder et solcellebatteri skal opfylde. Men vi forventer, at kommende standarder for solcellebatterier kommer til at følge dem, vi kender for elbiler, og dem har vi styr på,« siger Lars Barkler.

Hvis man allerede på nuværende tidspunkt vil købe et energilager til sit solcelleanlæg, så sælger den danske virksomhed Viva Energi i dag et 9,6 kWh batterilager baseret på blysyrebatterier (VRLA), hvor elektrolytten er absorberet i en gel. Viva Energi er netop begyndt at markedsføre hjemmebatterier baseret på LiFePO₄. Prisen for det største på 1,2 kWh ligger på 8.000 kroner. Men de er først og fremmest rettet mod mobile løsninger og specielle opgaver som for eksempel energiforsyning i nødhjælpsområder.

TEKNOLOGI

Dansk solcellebatteri vil bide skeer med Tesla

Til årsskiftet vil det være muligt at købe et dansk-udviklet lithium-ion-hjemmebatteri, så solcelleejere ikke behøver at sende nær så meget el ud på nettet.

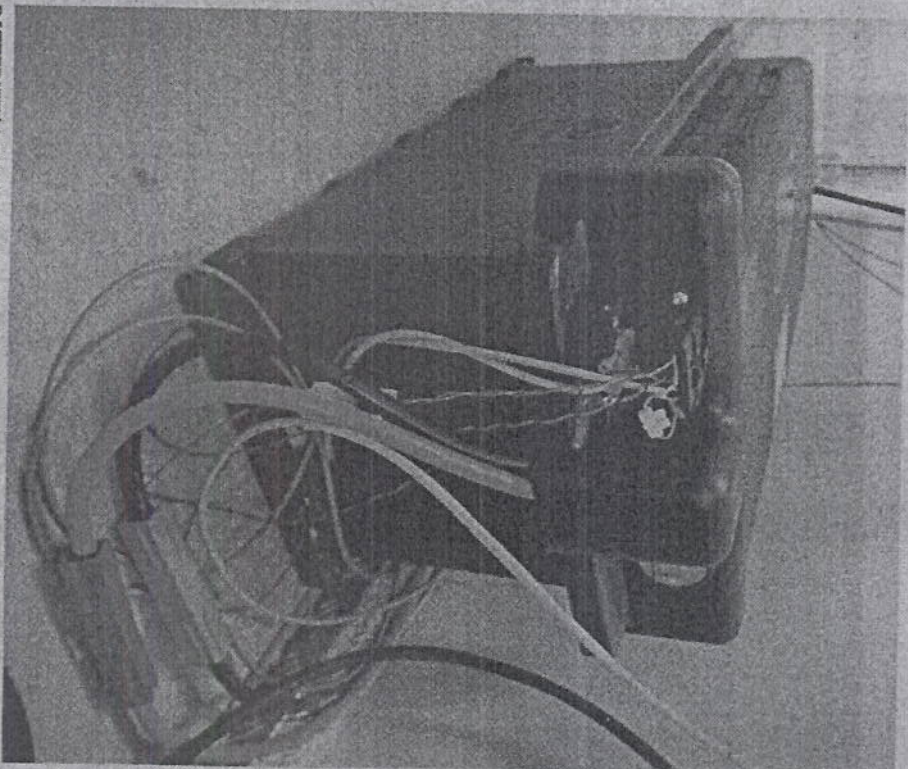
ENERGI

Af Bjørn Godske bgs@ing.dk

Mens Teslas karismatiske topchef, Elon Musk, kunne sole sig i opmærksomheden ved præsenteringen af et kommende hjemmebatteri, har den danske virksomhed Lithium Balance og Teknologisk Institut i stilhed gået og udviklet en værdig konkurrent.

Omrkring 1. januar 2016 vil de første modeller kunne sendes ud af døren, og selv om det er cirka et halvt år senere end Tesla, er Lithium Balances administrerende direktør, Lars Barkler, ikke nervøs for den amerikanske konkurrent – heller ikke selv om det endnu ikke er afsluttet, hvad Teslas pris på det danske marked ender med at blive:

»Vi har sammen med vores medejler, Dong, regnet på prisen



BATTERIET I testanlægget består af et 4 kWh LiFePO₄-batteri. Foto: Bjørn Godske

udviklingen for batterier, og der er ikke noget, som tyder på, at vi ikke skulle kunne konkurrere. Sådan som priserne så ud i 2013, da vi undersøgte det nærmere, ville det være muligt at bygge et anlæg med investering og installation til 4.000 kroner pr. kWh. Beregningerne viste, at den optimale anlægsstørrelse ville være 4 kWh til et solcelleanlæg på 6 kW,« siger Lars Barkler.

Det har ellers især været den rene pris på batterierne, som har stået i vejen for en bedre udnyttelse af de mange solcelleanlæg, der over de seneste par år er installeret i Danmark. Især de nye afregningsregler, hvor ejerne skal betale for at bruge elnettet som lager, har fået mange til at se sig om efter et alternativ.

Også de faldende tilskud til el fra solceller vil forbedre økonomien i en batteriløsning, forklarer Lars Barkler.

Samtidig er prisen for de kompakte lithium-ion-batterier over de seneste par år faldet, og det forventes, at prisudviklingen vil fortsætte nedad. Samme udvikling har solceller gennemgået – her er prisen faldet med 80 pct. over en relativt kort årrække. Fagfolk har ikke udpeget

hindringer for, at batterier skulle kunne opleve samme udvikling.

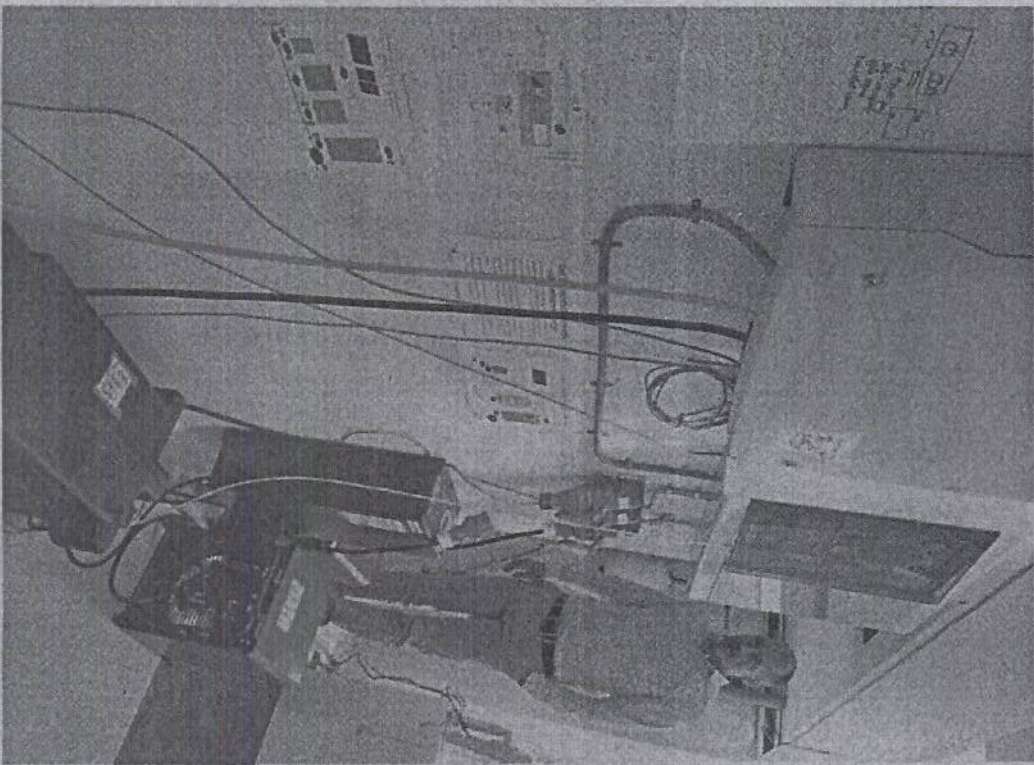
Lang batterilevetid er joker

På Teknologisk Institut i Taastrup har et 5 kWh-batterianlæg været i test siden december 2014. Batteriet er forbundet til et solcelleanlæg på testhusets tag, og forbruget bliver simuleret ved hjælp af nogle store varmeblæser, der tændes og slukkes efter en teoretisk forbrugskurve. De foreløbige resultater viser, at batteriet op- og aflader 1,15 gange pr. dag i gennemsnit. Den bedste udnyttelse fås på dage med veksellende skydække. Det fortæller Iben Østergaard, der er leder af projektet på Teknologisk Institut:

»På dage med meget sol bliver lagret hurtigt fyldt op, og solcellerne

Vi tror på, at vi kan få batterianlægget til at fungere i hele solcelleanlæggets levetid.

Lars Barkler, adm. dir., Lithium Balance



må i stedet levere til nettet, hvis der ikke er nok forbrug.« fortæller hun. Men de dage, hvor skyer og sol veksler, er der rigtig gang i batteriet. Det op- og aflades hurtigt, og en langt mindre andel af solcellesystemet sendes ud på elnettet. Dermed sparer ejeren den ekstra omkostning til systemoperatøren.

Anlægget fra Lithium Balance adskiller sig også på selve batteriteknologien fra Teslas designede produkt, der er baseret på nikkel-mangan-kobaltoxid (NMC):

»Vi har valgt at arbejde med lithium-jern-fosfat-batterier. Det giver en række fordele i forhold til levetid, som er den helt store dark horse, når vi taler batterier,« siger Lars Barkler.

Fordelen ved at bruge jern-fosfat-batterier (LiFePO₄) er, at selv om

LARS BARKLER, adm. dir. for Lithium Balance, viser her forsøgsstillingen af et hjemmebatteri i Teknologisk Instituts prøvewhus i Taastrup. Batteriet er den sorte kasse nederst, og den gule boks er inverteren. De røde varmeblæsere simulerer forbruget hos en almindelig familie. Foto: Bjørn Godske

kapaciteten efter cirka 2.000 op- og afladninger falder med cirka 20 pct., så falder den sandsynligvis ikke meget mere. Lithium Balance samarbejder med en kinesisk batteriproducent, og de har testet batteriet med helt op til 6.000 op- og afladninger og kun fundet et beskedent yderligere tab af kapacitet:

»Dertil tror vi også på, at vi kan få batterianlægget til at fungere i hele solcelleanlæggets levetid – altså 25 år,« siger Lars Barkler.

Det er også blevet undersøgt, om kommende kunder ville være interesseret i at købe et anlæg med et udført batteri fra en elbil. Her svarer overraskende mange, at så længe leverandøren kan garantere den oplyste kapacitet, er det ikke noget problem, at batterierne tidligere har fungeret i en elbil.

Styr på sikkerhedsstandarder

Lige nu er virkningsgraden på batteriet cirka 75 pct. Men det skyldes kun, at der køres med to invertere. Den ene er en standardinverter koblet direkte til solcelleanlægget. Den anden op- og aflader batteriet.

Lars Barkler vurderer, at hvis de to invertere erstattes af en såkaldt hybridinverter, som både er i stand til at sende el fra solcellerne ud på nettet, direkte til husholdningen og ned i batteriet, så vil virkningsgraden snige sig op på 90 pct.

Standarder er et andet punkt, hvor der mangler udvikling, fortæller Lars Barkler:

»Problemet er, at der ikke er taget stilling til, hvilke standarder et solcellebatteri skal opfylde. Men vi forventer, at kommende standarder for solcellebatterier kommer til at følge dem, vi kender for elbiler, og dem har vi styr på,« siger Lars Barkler.

Hvis man allerede på nuværende tidspunkt vil købe et energilager til sit solcelleanlæg, så sælger den danske virksomhed Viva Energi i dag et 9,6 kWh-batterilager baseret på blysyrebatterier (VRLA), hvor elektrolyten er absorberet i en gel. Viva Energi er netop begyndt at markedsføre hjemmebatterier baseret på LiFePO₄. Prisen for det største på 1,2 kWh ligger på 8.000 kroner. Men de er først og fremmest rettet mod mobile løsninger og specielle opgaver f.eks. i nødlukningsområder. ■

Lithium Balance bag dansk solcelle-batteri

29. maj 2015 09:09 | Af Maria Berg Badstue Pedersen | [Tip redaktionen om en historie](#)

Teknologisk Institut og den danske virksomhed Lithium Balance har i al ubemærkhed fremstillet et hjemmebatteri til lagring af solcellestrøm.

Send



Det er ikke længe siden, at Tesla lancerede sit hjemmebatteri. Nu gør danske Lithium Balance og Teknologisk Institut amerikanerne kunsten efter, skriver Ingeniøren.

Del



Udskriv



Omkring årsskiftet sender de nemlig de første modeller af deres lithium-ion-hjemmebatteri på markedet.

Forlænget levetid

Teslas hjemmebatteri er baseret på nikkel-mangan-kobaltoxid, mens det danske batteri er baseret på lithium-jern-fosfat, hvilket ifølge direktøren hos Lithium Balance, Lars Barkler, giver en fordel i forhold til batteriets levetid.

Fordelen her er nemlig, at kapaciteten efter 2.000 op- og afladninger ikke er faldet med mere end 20 procent og heller ikke falder yderligere. En kinesisk batteriproducent har testet batteriet helt op til 6.000 op- og afladninger med et beskedent kapacitetstab til følge.

- Derfor tror vi også på, at vi formentlig kan få batterianlægget til at fungere i hele solcelleanlæggets levetid - altså 25 år, siger Lars Barkler.

Læs også: [Flydende vindenergi puttes på batteri](#)

P.t. er virkningsgraden på batteriet, der siden december 2014 er testet på Teknologisk Institut, på cirka 75 procent. Det skyldes, at man kører med to invertere; en standard inverter og en til at op- og aflade batteriet.

Lars Barkler vurderer, at man kan øge virkningsgraden til 90 procent, såfremt de to invertere udskiftes med hybridinvertere, der kan sende solcellestrømmen direkte ud på nettet, direkte til husholdningen og direkte ned i batteriet.

Originalartikel: <http://ing.dk/artikel/dansk-tesla-batter..>

Solcellebatterier savner standarder

Store lithium-ion-batterier er på vej ud i private husstande, men internationale standardiseringskomiteer er langt fra færdige med at udarbejde standarderne.

Af Bjørn Godske [Følg @motorbloggen](#) 19. jun 2015 kl. 10:15



»Dybest set er der ikke nogen specifikke regler i øjeblikket«, forklarer Jan Roed, der er cheffingeniør i Sikkerhedsstyrelsen, om reglerne – eller mangel på samme – for batterier til private husstande. Det har dog sin naturlige forklaring; for det er ikke muligt at udarbejde en sikkerhedsstandard for et produkt, før det er færdigudviklet – og det er batterier til solceller langt fra:

Det er den internationale organisation IEC's tekniske komité, TC 21, som har ansvaret for udviklingen af sikkerhedsstandarder for genopladelige batterier, og her har man oprettet flere arbejdsgrupper, hvor den ene er et samarbejde mellem batterikomiteen (TC 21) og solcellekomiteen (TC 82). De skal blandt andet kigge på standarder for spændinger, kapacitet og op- og afladning for solcellebatterier, men har mest fokus på stand-alone-systemer til elforsyning af tyndt befolkede områder.

En anden gruppe, TC 21/WG8, skal udarbejde sikkerhedsstandarderne for batterierne og deres installation. Arbejdet forventes igangsat ultimo 2015, og man kan forvente en færdig international standard tre-fire år efter.

Koncentrationen en risiko

Et afgørende sikkerhedsaspekt i forhold til de nye batterier er, at de, modsat f.eks. et bilbatteri, ofte vil være placeret inde i folks hjem, for eksempel i kælderen. Samtidig er det batterier med en meget stor energikoncentration og en lille indre modstand, hvilket betyder, at en kortslutning giver en meget hurtig og voldsom energiudladning, ligesom man må tage stor hensyn til brandfaren, der for eksempel kan opstå ved en forkert styring af op- og afladningen.

Men Jan Roed understreger dog, at bare, fordi der endnu ikke er færdige sikkerhedsstandarder, så betyder det ikke nødvendigvis, at batterierne er usikre at bruge:

»De skal naturligvis overholde gældende generelle krav om ikke at være til fare for brugerne, og selv om der ikke er specifikke regler, er det fabrikanternes ansvar, at de generelle sikkerhedskrav er overholdt,« siger han.

Den danske virksomhed Lithium Balance er en af de producenter, som står foran at markedsføre solcellebatterier. Men da standarderne endnu ikke er klar, har man vendt blikket mod Tyskland.

Det forklarer Rasmus Rode Mosbæk, der er projektleder for virksomhedens energilagringssystemer:

»Der er ingen steder i Danmark, hvor vi kan få sikkerhedstestet vores batterisystem, og derfor er vi i dialog med et tysk certificeringsinstitut, som tester efter tyske anbefalinger,« siger han.

Anbefalingerne er udarbejdet med den tyske solcelleorganisation BSW i spidsen. Samtidig har Karlsruhe Institute of Technology udarbejdet en tjekliste:

»Man kan højst score 150 point på tjeklisten, og vi har allerede set, at det bliver brugt i markedsføringen af batterisystemer,« siger Rasmus Rode Mosbæk.

Moderne BATTERITEKNOLOGI *sikrer billig elforsyning*

Billigere og billigere batterier gør kombinationen af solceller og et batteri til en reel mulighed med økonomisk gevinst i private husholdninger. Bilfabrikanten Tesla fik i foråret international opmærksomhed med virksomhedens batteri til huse, men også i Danmark rykker teknologien.

Efter årtier med megen snak, men meget lidt brugbar udvikling, udvikler batteriteknologien sig nu lynhurtigt. Lithium-batterier viser sig effektive, og vigtigst af alt bliver prisen lavere og lavere. Dermed ser det nu ud til, at kombinationen af solceller og batterier bliver en reel og konkurrence-dygtig teknologi til private husstande.

Bilfabrikanten Tesla meldte i foråret ud, at virksomheden snart er klar med et batteri til husstande. Det sikrede verdensomspændende medieopmærksomhed. Men man behøver ikke kigge til udlandet og Tesla for at se batterirevolutionen rulle. Danmark er nemlig rigtig godt med. Virksomheden Lithium Balance i Ishøj udvikler således en løsning og er klar til at rykke fra januar 2016.

Inverteren udfordrer

Med støttepenge fra Elforsk i ryggen gik Lithium Balance og Teknologisk Institut i december 2014 i gang med et forsøg med et 5 kWh-batteri. Parterne tester batterier og solceller i en simuleret husstand. Teknologien fungerer lige nu sådan, at strøm produceret i solceller ryger gennem en inverter, konverteres til jævnstrøm og lagres på et batteri.

Når husstanden skal bruge strømmen, konverterer inverteren strømmen tilbage til vekselstrøm.

- Indtil videre viser forsøget, at rentabiliteten er 15 procent bedre, end vi regnede med, så det er meget tilfredsstillende, siger Lars Barkler, der er administrerende direktør i Lithium Balance.

Forsøget har dog også bragt nogle tekniske udfordringer frem i lyset, som nu skal løses. Således har anlægget "kun" en samlet effektivitet på 75 procent.

- Tabet kommer fra inverteren og skyldes, at vi kører med to invertere, forklarer Lars Barkler.

Den ene er en standard-inverter koblet direkte til solcelleanlægget. Den anden op- og aflader batteriet. Han mener, at virkningsgraden vil snige sig op på 90 procent, hvis man erstatter de to invertere med en hybridinverter, som både er i stand til at sende el fra solcellerne ud på nettet og ned i batteriet.

Hvad med sikkerheden?

Teknologisk Institut mener, at der er store perspektiver i mikset af batteri og solceller.

Ifølge instituttet bruger en gennemsnitlig husstand 11 kWh om dagen. Men

før har udfordringen været, at solcellestøm bliver produceret i de timer, hvor familien ikke er hjemme. Nu bliver strømmen altså lagret, til familien tænder computere og komfuret efter arbejdsdagen.

- Gennemfører forbrugerne samtidig energibesparelser med LED og så videre, er det pludselig rigtig meget af strømforbruget, som kan dækkes af løsningen, fortæller seniorkonsulent Iben Østergaard fra Teknologisk Institut, som sammen med seniorkonsulent Ivan Katic arbejder med forsøget.

Forsøget har dog også bragt yderligere tekniske udfordringer - ud over tabet fra inverteren - frem i lyset.

- Vi mangler forskning og sikkerhedsstandarder fra myndigheder om risiko for brand og eventuel giftig røg, når vi begynder at lagre energi i parceller i batteriform, siger Ivan Katic.

Der er dog et arbejde i gang i EU, som inden længe skal sikre, at sikkerheden er i orden, når batterierne er installeret i private huse.

En yderligere udfordring er at holde batteriet nogenlunde opladet på mørke vinterdage. Batteriet tager nemlig skade af at blive afladet.



→ - Her har forbrugeren stadig brug for at være tilkoblet elnettet for om nødvendigt at kunne oplade batteriet derfra, forklarer Ivan Katic.

Fremadrettet vil Teknologisk Institut eksperimentere med et 10 kWh-batteri kombineret med en hybridinverter, der kan sende jævnstrøm direkte fra solceller til batteri og derfra vekselstrøm ud i husstanden.

To kommercielle løsninger

På den kommercielle front vil Lithium Balance åbne batteriarsenalet med to løsninger: En til ca. 7.000 kroner og en til ca. 4.000 kroner inklusive installation og moms. Størrelsen på batteripakkerne bliver sandsynligvis fra 5-7 kWh. Direktør Lars Barkler er sikker på, at der er forretning i batterier og solceller:

- I dag har et solcelleanlæg uden batteri en tilbagebetalingstid på 12-14 år. Med et batteri ryger tilbagebetalingstiden ifølge eksperimentets resultater ned på cirka syv år.

Også Teknologisk Institut er overbevist om, at der er forretning i løsningen.

- Installatørerne skal nok få noget at lave, konstaterer Ivan Katic.

Han peger samtidig på, at der er op mod 90.000 ældre solcelleanlæg, som skal have inverteren repareret eller udskiftet de kommende år. En del kunder vil formentlig ønske at skifte til hybridinverter og en batteripakke.

- Men både for ældre og nye anlæg kommer meget selvfølgelig til at afhænge af de rammevilkår, politikere og myndigheder stiller op, pointerer Ivan Katic.

Grønt lys til løsningen

Hos TEKNIQ er man positiv over for kombinationen af solceller og batterier. Det skyldes især den måde, energiselskaberne i dag betaler private husstande for at levere solcellestrøm til elnettet.

- Med den nuværende timebaserede nettomålerordning er batterier den klart bedste måde for private at få den største gevinst, siger chefkonsulent Søren Rise fra TEKNIQ.

Samtidig vil løsningen være en fordel i områder med "svage" elnet som langt ude på landet, hvor nettene ikke kan håndtere



store udsving. Her kan batteriet lagre strømmen, i stedet for at nettet overbelastes af store mængder strøm på en dag med høj solskin.

Søren Rise anbefaler, at forbrugeren benytter en installatør, der er en del af ordningen VE-installatøren, når der skal hentes rådgivning om den rigtige løsning. En VE-installatør er på Energistyrelsens liste over godkendte installatører inden for vedvarende energi, og installatøren har særlig ekspertise i at vælge og installere vedvarende energiløsninger.

- Batterier og solceller er grønt og giver tydeligvis økonomisk gevinst i private

Sådan ser forsøget ud - designet vil ændre sig ude hos kunderne. Løsningen med den gule inverter er den såkaldte add-on løsning med en enkelt batterikasse på 5 kWh. Det kan tilsluttes et eksisterende solcelleanlæg parallelt med den eksisterende inverter.



husstande, så det er ren win-win. Vælger kunden en VE-installatør, er han sikker på at få den bedst mulige løsning, fordi installatøren understøtter valget med den bedst mulige og opdaterede viden, siger Søren Rise. ●

Endnu et billede fra forsøget på Teknologisk Institut. Løsningen med den røde inverter er med et større batteri på 10 kWh. Det er til nye anlæg eller der, hvor den gamle inverter skal udskiftes.



Batteriteknologien og levetid

I første halvår af 2015 meldte bilproducenten Tesla ud, at virksomheden vil lave batterier til husstande med såkaldt nikkel-mangan-koboltoxid-teknologi.

Lithium Balance arbejder med lithium-jern-fosfat-batterier. Det giver ifølge virksomheden en langt bedre holdbarhed på batteriet.

Firmaets kinesiske batteriproducent har testet batteriet med op til 6.000 op- og afladninger. Kapaciteten efter 2.000 op- og afladninger faldt med cirka 20 procent, men herefter var der kun et beskedent yderligere tab af kapacitet.

Virksomheden vurderer derfor, at batterianlægget vil kunne fungere i hele solcelleanlæggets levetid på 25 år.

PV BATTERY SYSTEM TESTED WITH REAL-LIFE CONSUMPTION DATA

Rasmus Rode Mosbæk^{1*}, Ivan Katic²

- 1) Lithium Balance A/S, Baldershøj 26C, 2635 Ishøj, Denmark
- 2) Danish Technological Institute, Gregersensvej, 2630 Taastrup, Denmark

ABSTRACT: With a decrease in feed-in tariffs for photovoltaic (PV) systems in Europe and a decrease in the cost of Li-ion batteries, PV battery systems for increased self-consumption are becoming of increasing interest. A 4.8 kWh PV battery system with lithium iron phosphate (LiFePO₄) batteries was designed. The battery pack was installed with the commercially available LiTHIUM BALANCE A/S battery management system that manages the battery cells for achieving higher yield and increased service life of the battery packs.

The PV battery system was installed in the EnergyFlexHouse at Danish Technological Institute, a full-scale flexible measurement platform for construction and installation technology. This gave the possibility to test the PV battery system in a single-family house environment. The PV battery system was connected to a PV array of 3.5 kWp. High resolution consumptions data for typical single family households was used for minute by minute load simulation in the tested PV battery system. Economic calculations based on Danish feed in tariffs are calculated for a PV battery system and a PV system without battery to clarify if it is profitable for a Danish consumer to install a PV battery. Economic calculations shows that a PV battery system could potentially stimulate the demand for PV systems despite decreasing feed in tariffs.

Keywords: Battery, Load, Control system, On-grid PV, Efficiency

1 INTRODUCTION

Like in many other countries, the financial viability of Danish on-grid PV plants are being challenged by decreasing feed in tariffs [1] and new fees for grid connection. A few years ago the consumers could use a simple annual net metering, while today it is, at best, reduced to hourly net metering and export at a tariff less than half of the retail electricity price. In some cases PV self-consumption is even only possible if the production can be absorbed immediately and on the correct phase of the electric system. Batteries could be the obvious solution to this, in particular lithium based batteries, due to higher available state of charge range, more cycles and no evaporation of hydrogen and oxygen compared to lead acid batteries [2, 3]. LiTHIUM BALANCE A/S is an expert in lithium-ion batteries and battery management systems (BMS) in connection with these. It is the aim of this work to demonstrate the operation of a battery system in order to gain practical experience, document the efficiency, and to fine-tune the battery management system while operating in a typical PV system. It is expected that LiTHIUM BALANCE A/S will have two commercially available storage system solutions ready for the Danish PV market within a year.

2 EXPERIMENTS

2.1 EnergyFlexHouse and PV system

The physical location of the system is the EnergyFlexHouse at Danish Technological Institute in Taastrup, Denmark. This house was built in 2010 as a full-size experimental platform for new construction and energy technologies. A picture of the EnergyFlexHouse is shown in Figure 1. PV panels from First Solar and a small solar thermal system cover the entire south facing roof. The PV system is divided in two strings, so that the two halves of the system can run independently, and the house is therefore ideal for side by side testing of system solutions. Each string has a rated power of approximately 3.5 kWp corresponding to a small household PV system. Each PV string is connected to a Danfoss ULX inverter.



Figure 1: EnergyFlexHouse with PV panels on the roof. Left house: The test house in use. Right house: Identical house occupied by a single family.

2.2 System Diagram

Figure 2 shows the system diagram of the PV battery system. The 3.5 kW PV modules deliver power to the Danfoss ULX inverter that converts the PV power to single phase AC. When there is excess electricity from the PV modules the battery inverter charge the battery pack and when the power is needed the battery inverter discharge the battery pack. The battery cells in the pack are managed by the BMS to ensure proper charging and discharging for achieving higher yield and service life. The battery system monitoring are done on a PC with PC diagnostic software. A computer with consumption profiles together with a load controller and a resistive load simulate the load consumption of the household.

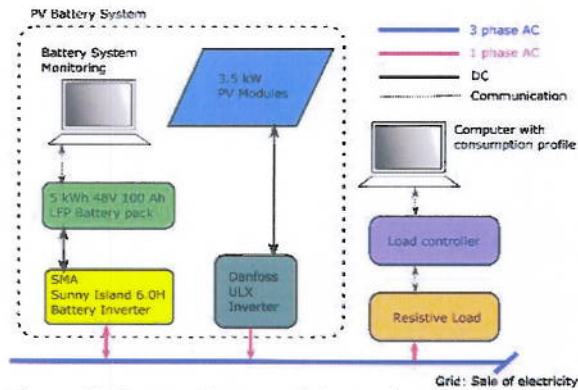


Figure 2: System diagram of the PV battery system and load controller.

2.3 Consumption profiles

The main objective of the PV battery systems test was to evaluate the behavior of a battery storage solution under realistic operating conditions. For this, consumption profiles for a single family with high resolution (1-minute) was needed. It turned out to be very difficult to find representative Danish data for a single family, instead a standard series for typical days was acquired from German VDI [4]. The climates in Northern Germany and Denmark are very comparable, so possible errors can be neglected. The data was scaled to fit an annual consumption of 4000 kWh, representing a single family house without electric heating. The simulated consumption profile for a week day is shown in Figure 2. The daily load curve for a summer week day shows a remarkably fluctuating pattern compared with the often used hourly load profiles.

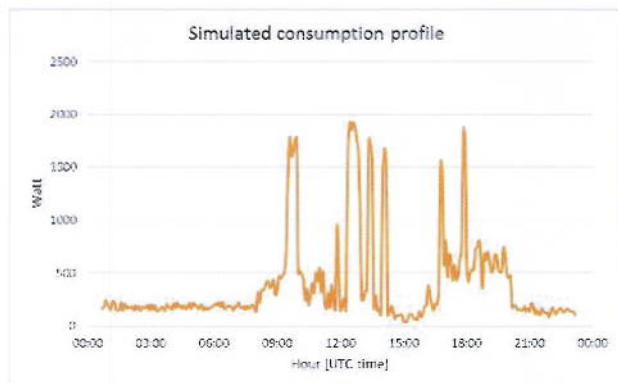


Figure 2: Minute based power consumption scaled for a single family with an annual consumption of 4000 kWh.

2.4 Load controller

The simulated household load is controlled by an electronic ohmic load made of simple and inexpensive components:

- An electric heater with fan
- A dimmer switch for industrial lighting
- A D/A controller connected to a laptop with LabView software.

The 3-phase heating element is connected to the lighting controller, which continuously controls the load power. The signal is calculated by calibration of the output power versus input voltage. In this way, the load profile can be repeated day after day. The computer with consumption profile, the load controller and the electronic

AC load are shown at the system diagram in Figure 3.

2.5 Battery Energy Storage System

A 4.8kWh PV battery system with lithium iron phosphate (LiFePO₄) was designed and tested with a SMA Sunny Island 6.0H battery inverter. The battery pack was installed with 16 CALB CA100 100Ah rechargeable LiFePO₄ battery cells (fulfill UN38.3 [5]) connected in series. The battery pack was installed with the commercially available LITHIUM BALANCE A/S s-BMS that manage the battery cells for achieving higher yield and increased service life of the battery packs. For safe operation of the battery pack a mid-pack fuse and a load fuse was installed together with two electromechanical normally open DC relays for redundant disconnection of the battery. For temperature monitoring of the battery cells 4 temperature sensors are strategically placed in the array of battery cells.

The BMS consist of one Battery Management Control Unit (BMCU) and two Local Monitoring Units (LMU). A single LMU monitors up to 8 cells in series with a balancing performance of 800 mA/cell. Up to 64 LMUs can be connected in series for total monitoring of 512 cells with a maximum limit of 1000 V. The BMS communicates with the battery inverter (SMA Sunny Island 6.0H) through CAN bus communication. Values and parameters from the BMS was monitored through the PC Diagnostic interface provided by LITHIUM BALANCE A/S.

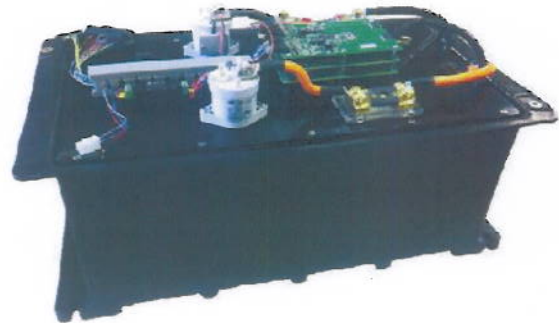


Figure 4: View of the battery pack prototype with the battery management system together with fuses and relays for redundant disconnection.

3 RESULTS

3.1 Efficiencies

The preliminary results indicate that the battery pack including the BMS system has a cycle efficiency of more than 95% when operating between 20 and 100% state of charge. The total system losses are, however, much higher than 5% due to the conversion losses from AC to DC and back to AC. For a sufficiently long period of time the difference in state of charge at start and end can be neglected, so the total efficiency can simply be calculated as:

$$\eta = \frac{\sum E_o}{\sum E_i}$$

The preliminary analysis shows a total round trip efficiency of 75-77%. The power conversions losses can be expressed as a constant loss when the converter is on (idle losses) plus a conversion loss that depends on the square of the converted power:

$$P_{loss} = a \cdot P^2 + b \cdot P + c$$

The converter switches off (automatic sleep mode) when the load becomes lower than a certain threshold value. The actual measured power distribution curves for charge and discharge are shown in Figure 5. The figure shows that most of the time the bi-directional battery inverter is in sleep or standby mode. There are very few hours exceeding a 3 kW charge or discharge power. The maximum output power of the battery inverter is 6 kW. A detailed analysis of the measured losses shows that approximately 30% of the energy is lost in standby or sleep mode. Table 1 shows the efficiencies on monthly basis from March to August 2015. The demonstrated efficiency of the battery pack in August was 99%.



Figure 5: Measured distribution curve of the battery inverter power in May. It appears that there are very few operating hours above 3 kW which is only half of the maximum output power of the battery inverter.

	Battery	Converter	Total
March	96%	64%	61%
April	97%	77%	75%
May	98%	79%	77%
June	97%	60%	58%
July	89%	84%	75%
August	99%	75%	75%

Table 1: Table of monthly efficiencies. In March and June, the operation was irregular resulting in apparently high losses.

3.2 Power flow

The controller in the SMA Sunny Island 6.0H inverter should ensure that as much PV electricity as possible is consumed directly. Figure 6 shows how the system works in practice for a sunny day in Figure 6 and for a cloudy day in Figure 7. The dynamic minute based load profile show that the SMA Sunny Island respond to ensure maximum self-consumption of the PV power.

For a sunny day as shown in Figure 6 the battery is rapidly charged in the morning and hereafter PV power is exported (negative power flow). In the evening, the stored power is gradually released so import/export is balanced at almost zero. On cloudy days as shown in Figure 7 the battery pack is used during the consumption peaks and thereby minimizing the import of electricity. This would not have been a clear conclusion if 15 minutes or hour based consumption profiles were used.

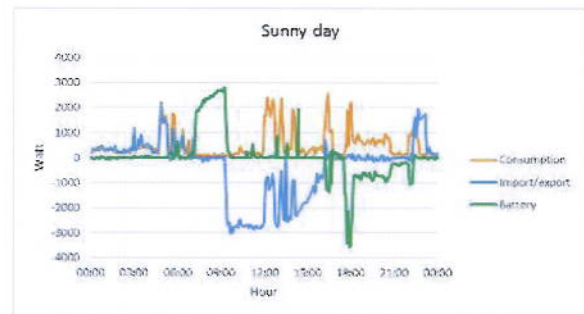


Figure 6: Power flow on a sunny day.

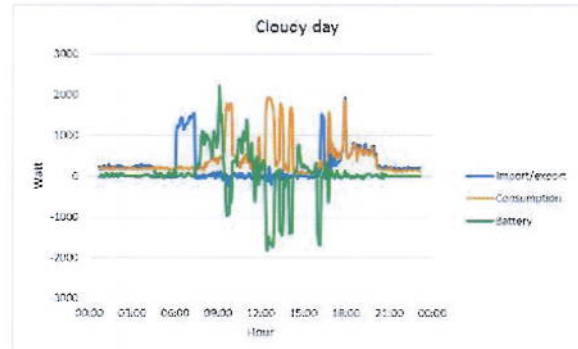


Figure 7: Power flow on a cloudy day.

3.3 Economy

Figure 8 shows the net present value (NPV) of the investment for a 6kWp PV system with a 5kWh battery pack with a high price (940€/kWh) and a battery pack with a low price (535€/kWh) compared to not having a battery in combination with a PV system. The calculations are done with Danish feed in tariff scheme. Any NPV above 0 is a good investment. Figure 8 shows that the NPV for PV system in combination with a battery pack is much better compared to PV system without battery pack.

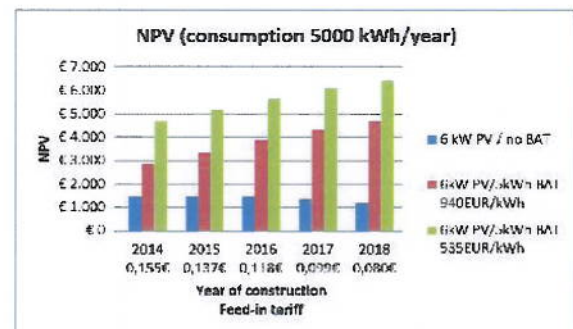


Figure 8: Net present value (NPV) of the investment of a 6 kWp PV system with a 5 kWh battery pack with an annual electricity consumption of 5000 kWh/year.

Figure 9 shows the payback time of the investment in years of a 6kWp PV system with a 5 kWh battery pack with a high price (940€/kWh) and a battery pack with a low price (535€/kWh) compared to not having a battery in combination with a PV system. The calculations shows that the payback time of investment is reduced significantly with a battery pack and reduce payback time for the overall PV system (i.e. to increase motivation to invest) if the battery price is in the low range. Even at the high price range a battery pack makes the PV system a much better investment than without a battery pack under the Danish feed-in tariff scheme.

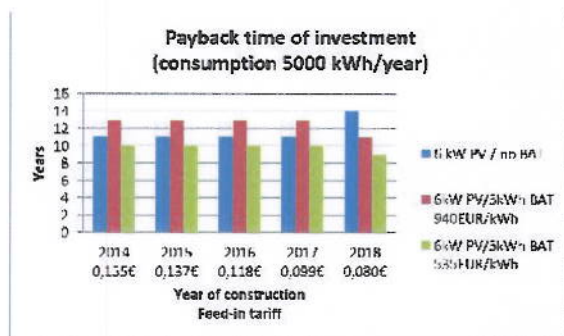


Figure 9: Payback of the investment in years of a 6 kWp PV system with a 5 kWh battery pack with an annual electricity consumption of 5000 kWh/year.

The last two years the price of battery packs for PV applications decreased considerably but based on LITHIUM BALANCE A/S experience, the market prices for PV battery systems are still high compared to battery pack prices for automotive and industrial applications.

The expected price for a Lithium Balance A/S PV battery system is 740 €/kWh with current battery prices including VAT, distribution and installation cost. It is expected that the prices of lithium-ion batteries will continue to decrease the next ten years [6]. We expect that the battery pack prices decrease with the decreasing battery prices.

The economic calculations are on hour based consumption data. Our presumption from the present test of the PV battery system is that it become even more attractive when economic calculations are done on minute based consumption data.

4 CONCLUSION

A PV battery system was successfully tested in a full-size experimental platform called EnergyFlexHouse. The battery pack shows relative high efficiencies (up to 99%) in the test period.

The dynamic minute based consumption profile show that the battery inverter respond to ensure maximum self-consumption of the PV power. When evaluating PV battery systems it is important to use minute based consumption profiles since it will make the utilization of the battery pack more visible.

The economic calculations showed that the net present value was much better with a PV battery system with Danish feed in tariffs than having a PV system without a battery pack.

5 FUTURE WORK

It is the ambition to develop a battery pack ready for sale that fulfill the recommendations for safety standards from [7] and the complete checklist for Li-ion home storage systems recommended by Karlsruhe Institute of Technology [8].

The battery pack will include a newly developed BMS from LITHIUM BALANCE A/S with temperature monitoring on every battery cell in the battery pack. The new battery management system are designed based on the principles from IEC 61508 with a high level of integrated functional safety.

6 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge Danish Energy Association under the project ELFORSK 346-012 and the

Fund for Green Business Development by the Danish Business Authority for financial support. Development engineer Søren Hansen, and CEO Lars Barkler from LITHIUM BALANCE A/S and Project Managers Lars Hansen and Iben Østergaard from Danish Technological Institute for technical assistance and project management.

7 REFERENCES

- [1] Feed in tariffs for PV plants in Denmark. Danish: "Støtte til el fra solceller", Danish Energy Authority, Visited September 2015; <http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/el-naturgas-varmeforsyning/elforsyning/elproduktion/stotte-vedvarende-energi-3>
- [2] Lead-Acid Battery Technologies, Fundamentals, Materials and applications. Joey Jung, Lei Zhang and JiuJun Zhang, CRC Press. ISBN: 978-1-4665-9223-0
- [3] E. M. Krieger, J. Cannarella, and C. B. Arnold, "A comparison of lead-acid and lithium-based battery behavior and capacity fade in off-grid renewable charging applications," *Energy*, vol. 60, pp. 492–500, 2013.
- [4] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, VDI 4655 Reference load profiles of single-family and multi family houses for the use of CHP systems (2008).
- [5] Recommendations on the TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS, Manual of Tests and Criteria, Section 38.3, Fifth revised edition, United Nations, 2011, http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev5_Amend1/ST-SG-AC10-11-Rev5-Amend1e.pdf
- [6] "Falling battery prices boost outlook for electric vehicles", Björn Nykvist and Måns Nilsson, 23 March 2015. Page visited September 2015. <http://www.rtcc.org/2015/03/23/falling-battery-prices-boost-outlook-for-electric-vehicles/>
- [7] Sicherheitsleitfaden Li-Ionen-Hausspeicher, BSW, BVES, DGS, StoREgio ZVEH, Stand: Version 1.0 Ausgabe 11/2014. Visited September 2015. http://www.competence-e.kit.edu/img/Sicherheitsleitfaden_Li-Ionen_Hausspeicher_11_2014.pdf
- [8] Checklist for Li-ion home storage systems, Karlsruhe Institute of Technology, Visited September 2015 http://www.competence-e.kit.edu/downloads/Li-Ionen_Checkliste_EN.pdf

Lagring af solcelle-el fra énfamiliehus på batterier og/eller varmepumpe

Forsøg med solceller kombineret med hhv. batterier og varmepumpe har givet erfaringer om teknologiernes modenhed og affødt gode råd til husejere, rådgivere, håndværkere og andre, der gerne vil lagre solcelle-elektricitet i hjemmet – frem for at levere det til el-nettet.

Batterilager

I forsøget er der testet to systemer med batterier og én varmepumpe, og de samlede resultater fra projektet, som er støttet af Elforsk, kan ses i Rapporten: "Optimal udnyttelse af udnyttelse af solcelle i énfamiliehus". I projektet deltager Teknologisk Institut og Lithium balance, som har leveret batteripakkerne.

De to batterilagringssystemer på ca. 5 kWh er til supplement til henholdsvis eksisterende solcelleanlæg på 3,5 kWp, der allerede har en vekselretter og til solceller uden vekselretter (typisk ny-etablering eller ved udskiftning af eksisterende vekselretter). Forskellen på de to systemer er hovedsageligt inverteren. Af de 5 kWh er ca. 4 kWh effektivt batteri.

Den overordnede konklusion er, at den samlede cyklus-effektivitet ligger på ca. 74 - 78%, hvoraf langt det største tab er på inverteren. Et godt råd er, at man køber et samlet system, hvor leverandøren garanterer, at batteri og inverter kan fungere sammen. Og så skal man populært sagt hellere købe inverteren lidt for lille end lidt for stor, idet de store tab ligger ved tomgang eller lave belastninger. En fordelagtig inverterstørrelse kan være fra halvt til $\frac{1}{4}$ så stor som solcelleanlæggets peak-effekt.

Fremtidens økonomi

Om batterilagring vil kunne betale sig for solcellejere, vil komme an på en række faktorer:

- Fremtidige tariffer og gebyrer
- Prisudviklingen på batterier og solcelleanlæg
- Praktisk levetid af batteripakker
- Pris for installation, drift og vedligehold.

Priserne er ved at komme ned på ca. 5.000 kr./ kWh batterilager. Der vil således være krav om at tjene mindst 500 kr./år pr kWh hvis man regner med 10 års tilladelig tilbagebetalingstid. Undersøg økonomien i dit-solcelle-batteri-lagringsprojekt i [beregningstværktøjet](#)

[http://www.teknologisk.dk/ /media/65569 Solceller%20og%20batterier 6 endelig.xlsx](http://www.teknologisk.dk/ /media/65569_Solceller%20og%20batterier_6_endelig.xlsx)

Her kan du finde besparelse, tilbagebetalingstider m.m. ved installering af batterilagre til solcelleanlæg.

Tesla har bebudet kraftige i batteripriserne, så de i 2020 kommer ned på 1.000 kr. pr. kWh batteri, og så vil batterilagre blive økonomisk attraktive i mange tilfælde, idet lagringsprisen så falder fra omkring 2 kr. pr. kWh til omkring 0,50 kr. pr. kWh. En andet fremtidsperspektiv kunne være at bruge batterierne til lagring af billig el fra nettet – f.x. om natten.

Konklusioner fra batterisystem

- Inverter og styring er velfungerende, men der er betydelige energitab forbundet med konvertering fra AC (vekselspænding) til DC (jævnspænding) og tilbage igen, især er de relative tab store ved lav belastning.

(Samlet cyklus effektivitet 74 – 78 %).

- Tomgangstabet har stor betydning.
- Batteripakken har en høj cyklus effektivitet både ved stor og lille belastning (97 %).
- Langt den største del af systemtabene finder altså sted i AC/DC og DC/AC konverteringen – altså i inverter.
- Der mangler en sikkerhedsfunktion, som kan redde batteriet i tilfælde af manglende opladning, for eksempel en akustisk alarm samt frakobling af alle forbrugende kredse.
- Inverteren gav en ubehagelig lyd ved opstart, hvilket vil være generende i et beboet hus.
- Der køres på solskinsdage typisk lidt over en fuld cyklus gennem batteriet.
- På hele solskinsdage er batteriet typisk opladet i løbet af formiddagen, hvorefter resten af dagens solcelleproduktion må sælges, indtil der forbruges igen om eftermiddagen. I løbet af aftenen bliver batterilageret typisk tømt.
- Der skiftevis op- og aflades oftere på dage med overskyet end på hele solskinsdage; dvs. batterisystemet kommer rigtig til sin ret på dage med overskyet vejr (det solrige vejr er dog naturligvis at foretrække).
- Effektiviteten bliver ikke dårligere på sådanne dage med stærk dynamisk kørsel – det være sig med spidslaster på forbrug eller variabel elproduktion ved ”sol med skyer”.
- Dvs. at der typisk op- og aflades godt en gang i døgnet i sommer halvåret - (når der er sol), hvilket betyder, at batteriet er godt udnyttet.
- Batteriet er relativt godt dimensioneret, idet dette batteri på knap 5 kWh (4 kWh aktiv lagring) passer godt til solcelleanlægget på 3,5 kW. Det passer med dimensioneringsreglen om, at batteriets brugbare energi-indhold i kWh skal svare til solcelleanlæggets peak-effekt i kW. Det svarer til, at batteriet oplades på omkring en times fuldlastkørsel fra solcelleanlægget.

Anbefalinger og gode råd

Først skal du fastlægge hvilket system du skal have: Har du et eksisterende solcelleanlæg med (forholdsvis ny) inverter, eller starter du fra bunden, og skal til at købe både solcelleanlæg og batterisystem - eller står din eksisterende inverter til udskiftning.

Køb det hele samlet – kend dit el-forbrug

Køb batteri, inverter og styring af samme firma, så man sikrer, at det er dimensioneret til samme forbrug og leverance fra solcelleanlægget, og så man sikrer, at delene ”forstår” hinanden. Køb en samlet system-løsning, hvor leverandøren garanterer det samlede system.

Effektstørrelse på inverter

Køb hellere batteri-inverter/lader lidt for lille end lidt for stor – ifølge vore foreløbige resultater er en passende størrelse er ca. halvdelen af solcelle-effekten for system 1 og 75 % af solcelleeffekten for system 2.

(Effektstørrelse på konverter fra AC (vekselstrøm til jævnstrøm) til DC (hvor man har et eksisterende solcelleanlæg med inverter) skal passe til forbruget. Dvs. få fastlagt forbruget, så der kan vælges en inverter/lader, med høj del-virkningsgrad og lavt tomgangstab. 30 % af tabet finder sted, når inverter er ubelastet. Det er få timer, hvor den kører med fuld effekt, så det er en god idé at underdimensionere inverter i forhold til solcelleanlæggets maximale effekt samt det maksimale forbrug. AC/DC batterikonverter op til 3,6 kW er tilstrækkelig i 6 kW solcelleanlæg, hvis det er en enfaset type (billigst, men

ikke optimal for afregningsgruppe 4)).

Tomgangstab

Spørg altid til størrelsen af tomgangstab og virkningsgrader ved lav last – det kan være væsentligt.

Batteriets størrelse

En teknisk og økonomisk fornuftig batteristørrelse er på ca. 1 kWh effektivt batterilager pr. kWp installeret solcelleeffekt.

Forskel på købs- og salgspris skal være mindst 2 kr. for at en batteriløsning er økonomisk attraktiv.

Mål på tre faser

Vi anbefaler at købe et system med 3-faset energimåler til danske husstande. Hvis systemet kun måler med "clips" på 1 fase, er det for upræcist, når man skal styre, om der skal leveres strøm til forbrug fra batteriet. En trefaset batterikonverter er især at foretrække til større anlæg og gerne ved afregningsgruppe 2

Brugsvandsvarmepumpe

Forsøget skulle afklare hvor velegnet brugsvands-varmepumpe er til at lagre overskudsel fra solceller på et enfamiliehus. Varmepumpen er en brugsvandsvarmepumpe med 180 liter brugsvands-lager, og brugsvandsforbruget blev simuleret ved hjælp af et varmtvands-tappeprogram, der svarer til en typisk families forbrug. En varmepumpe med ca. 180 liter vand kan optage 4,7 kWh ved opvarmning fra 40 til 65 grader – svarende til batterierne i projektet.

Forsøget har målt effektiviteter ved opvarmning af brugsvand ved forskellige temperaturer. Forsøgene viste (bekræftede), at effektiviteten faldt drastisk med stigende beholdertemperatur, dels på grund af varmetab, dels på grund af forringede driftsforhold for varmepumpens kredsløb.

Der tegner sig nemlig følgende billede af effektivitetens afhængighed af beholdertemperaturen:

Tanktemperatur	Målt systemeffektivitet
34	2,99
44	2,35
50	2,31
54	0,81

Det ses at ved 54 grader er effektiviteten lavere, end ved ren-elpatronkørsel. Den meget lave effektivitet kan måske skyldes varmetab i forbindelse med en udvendig elpatron som medfører yderlige varmetab i rørkredsen. Samtidig er der et højere tomgangsforbrug i forhold til perioden med lavere driftstemperatur. Effektiviteten vil derfor være stærkt forringet med denne indstilling.

Konklusion vedrørende varmepumpeforsøg

- Varmepumpen skal være egnet til formålet, dvs. den skal kunne tilpasse sig over et stort temperaturområde uden væsentlig forringelse af effekt faktoren.
- Varmtvandsbeholderen skal have en fornuftig størrelse, f.eks. over 200 liter samt en god isolering uden kuldebroer. Denne størrelse vil sikre at man kan optage et par timers overskudsel fra et typisk

solcelleanlæg på 4-5 kW (Svarende til typiske batteriløsninger) (hvis det er ren elpatron)

- Styringen skal kunne begrænse hvilke perioder der skal opvarmes i, for eksempel via et signal fra solcelleanlæggets inverter eller en timer. På den måde kan man sikre sig at beholderen er kold når solen begynder at skinne og der vil være overskud af el.
- Der bør sidde en elpatron direkte i beholderen, som evt. kan opvarme det sidste stykke, hvor varmepumpen ikke kan følge med. Her skal styringen kunne slukke helt for kompressoren, som ellers bare vil levere "varme til fuglene"

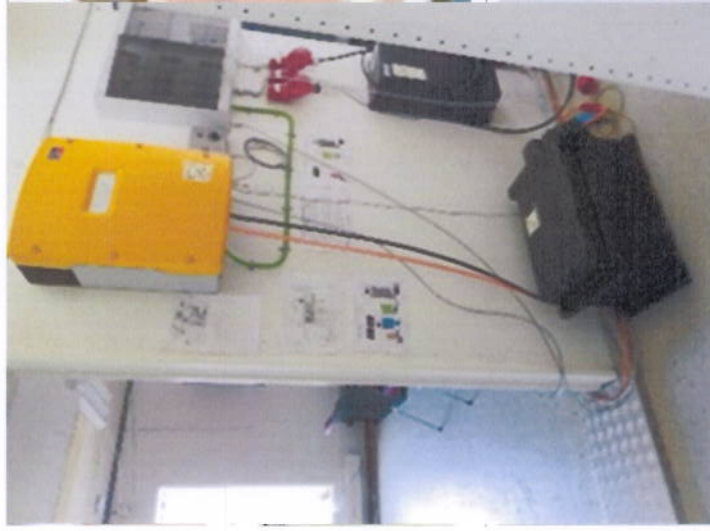
Samlet hentes ca. 77% af den lagrede elenergi ud af systemet igen som varmt vand. En del af tabet vil dog komme husets rumpovarmning til gode; dvs. ca. samme virkningsgrad, som for batterier.

Måling af varmetab

Når man overopvarmer beholderen, vil der ske et større varmetab end normalt. Forsøget viser, at selvafladningen (varmetabet) fra et lille varmelager er ganske betydelig set i forhold til energiindholdet. Temperaturen falder fra 50 til 34 grader på en uge. Virkningsgraden ved termisk energilagring vil derfor afhænge stærkt af hvor længe energien skal gemmes.

Fotos til at illustrere: Foroven Batterisystem 1 (gul inverter) til solcelleanlæg, der allerede har vekselretter. Nederst Batterisystem med inverter, der erstatter eksisterende inverter. Her lades jævnspænding direkte på batteri – eller det vekselrettes til forbrug. Øverst til højre er varmepumpen med 180 liter brugsvands-lager.





Lagring af solcelle- el på batterier og/ eller varmepumpe

Forsøg med solceller kombineret med hhv. batterier og varmepumpe har affødt nogle tips til husejere, rådgivere, håndværkere og andre, der gerne vil lagre solcelle-elektricitet i hjemmet – frem for at levere det til el-nettet.

Vil du vide mere, om PSO-projektet "Optimal udnyttelse af solcelle-el i énfamiliehus", så se:

www.teknologisk.dk/71401

eller find beregningsprogram

http://www.teknologisk.dk/_/media/65569_Solceller%20og%20batterier_6_andelig.xlsx

Iben Østergaard ibo@teknologisk.dk eller

Ivan Katic, ik@teknologisk.dk

BATTERILAGER

I forsøget er der testet to systemer med batterier og én varmepumpe, og de samlede resultater fra projektet, som er støttet af Elforsk, kan ses i Rapporten: "Optimal udnyttelse af solcelle-el i énfamiliehus" (på web-siden)

De to batterilagringssystemer på ca. 5 kWh er til supplement til henholdsvis eksisterende solcelleanlæg på 3,5 kWp, der allerede har en vekselretter og til solceller uden vekselretter (typisk ny-etablering eller ved udskiftning af eksisterende vekselretter). Forskellen på de to systemer er hovedsageligt inverteren.

Den overordnede konklusion er, at den samlede cyklus-effektivitet ligger på ca. 74 – 78%, hvoraf langt det største tab er på inverteren. Et godt råd er, at man køber et samlet system, hvor leverandøren garanterer, at batteri og inverter kan fungere sammen. Og så skal man populært sagt hellere købe inverteren lidt for lille end lidt for stor, idet de store tab ligger ved tomgang eller lave belastninger.

Virkningsgraden er stor på selve batteriet:

Batteri	Konvertering	Total
0,97	0,82	0,80

FREMTIDENS ØKONOMI

Om batterilagring vil kunne betale sig for solcellejerne, vil komme an på en række faktorer:

- Fremtidige tariffer og gebyrer
- Prisuudviklingen på batterier og solcelleanlæg
- Praktisk levetid af batteripakker
- Pris for installation, drift og vedligehold.

Priserne er ved at komme ned på ca. 5.000 kr./kWh batterilager. Der vil således være krav om at tjene mindst 500 kr./år pr kWh hvis man regner med 10 års tilladelig tilbagebetalingstid. Undersøg økonomien i dit-solcelle-batteri-lagingsprojekt i beregningsværktøjet på web-siden. Her kan du finde besparelse, egetforbrug mm. ved installering af batterilagre til solcelleanlæg.

KONKLUSIONER FRA BATTERISYSTEM

- Inverter og styring er velfungerende, men der er betydelige energitab forbundet med konvertering fra AC (vekselspænding) til DC (jævnspænding) og tilbage igen, især er de relative tab store ved lav belastning. (Samlet cyklus effektivitet 74 – 78 %).
- Tomgangstab har stor betydning.
- Batteripakken har en høj cyklus effektivitet både ved stor og lille belastning (97 %)
- Langt den største del af systemtabene finder altså sted i AC/DC og DC/AC konverteringen – altså i inverter
- Effektiviteten bliver ikke dårligere ved stærk dynamisk kørsel – det være sig med spidslaste på forbrug eller variabel elproduktion ved "sol med skyer".
- Inverteren kan underdimensioneres i forhold til solcelleanlæggets effekt og det maksimale elforbrug.
- Der mangler en sikkerhedsfunktion, som kan redde batteriet i tilfælde af manglende opladning, for eksempel en akustisk alarm samt frakobling af alle forbrugende kredse.
- Inverteren gav en ubehagelig lyd ved opstart, hvilket vil være generende i et beboet hus
- Der køres på solskinsdage typisk lidt over en fuld cyklus gennem batteriet. Dvs. typisk op- og aflades godt en gang i døgnet i sommer halvåret – (når der er sol), hvilket betyder, at batteriet er godt udnyttet.
- På hele solskinsdage er batteriet typisk opladet i løbet af formiddagen, hvorefter resten af dagens solcelleproduktion må sælges, indtil der forbruges igen om eftermiddagen. I løbet af aftenen bliver batterilageret typisk tomt.
- Der skiftevis op- og aflades oftere på dage med overskyet end på hele solskinsdage; dvs. batterisystemet kommer rigtig til sin ret på dage med overskyet vejr (det solrige vejr er dog naturligvis at foretrække).
- Batteriet er relativt godt dimensioneret, idet dette batteri på knap 5 kWh (4 kWh aktiv lagring) passer godt til solcelleanlægget på 3,5 kW. Det passer med dimensioneringsreglen om, at batteriets brugbare energi-indhold i kWh skal svare til solcelleanlæggets peak-effekt i kW. Det svarer til, at batteriet oplades på omkring en times fuldlastkørsel fra solcelleanlægget.

ANBEFALINGER

Først skal du fastlægge hvilket system du skal have: Har du et eksisterende solcelleanlæg med (forholdsvis ny) inverter, eller starter du fra bunden, og skal til at købe både solcelleanlæg og batterisystem - eller står din eksisterende inverter til udskiftning.

Køb det hele samlet – kend dit el-forbrug

Køb batteri, inverter og styring af samme firma, så man sikrer, at det er dimensioneret til samme forbrug og leverance fra solcelleanlægget, og så man sikrer, at delene "forstår" hinanden.

Effektstørrelse på inverter

Det er få timer, hvor der køres med fuld effekt, og der er lav virkningsgrad ved lav last, så det er en god idé at underdimensionere inverter i forhold til solcelleanlæggets maksimale effekt samt det maksimale forbrug. AC/DC batterikonverter op til 3,6 kW er tilstrækkelig i 6 kW solcelleanlæg med eksisterende inverter.

Tomgangstab

Spørg til størrelsen af tomgangstab—det kan være væsentligt

Tre faser

En trefaset batterikonverter er at foretrække, især til større anlæg og gerne ved afregningsgruppe 2

Batteriets størrelse

En teknisk og økonomisk fornuftig batteristørrelse er på ca. 1 kWh effektivt batterilager pr. kW installeret solcelle-effekt.



5 kWh lithium-ion batteri med 4 kWh effektivt lager passer godt til et solcelleanlæg på 3–5 kWp

VARMEPUMPE

Der er målt effektiviteter ved opvarmning af brugsvand i en brugsvandsvarmepumpe ved

forskellige temperaturer. En varmepumpe med ca. 180 liter vand kan lagre ca. 5 kWh – svarende til batterierne i projektet.

Forsøgene viste, at effektiviteten faldt drastisk med stigende beholdertemperatur, dels på grund af varmetab, dels på grund af forringede driftsforhold for varmepumpens kredsløb.

Der tegner sig nemlig følgende billede af effektivitetens afhængighed af beholdertemperaturen:

Tanktemperatur	Målt systemeffektivitet
34	2,99
44	2,35
50	2,31
54	0,81

Det ses at ved 54 grader er effektiviteten lave, end ved ren-elpatronkørsel. Den meget lave effektivitet kan måske skyldes varmetab i forbindelse med en udvendig elpatron som medfører yderlige varmetab i røkrædsen. Samtidig er der et højere tomgangsforbrug i forhold til perioden med lavere driftstemperatur. Effektiviteten vil derfor være stærkt forringet med denne indstilling.



Nilan brugsvandsvarmepumpe med 200 liter varmtvandsbeholder

KONKLUSION VEDRØRENDE VARMEPUMPEFORSØG

- Varmtandsbeholderen skal have en fornuftig størrelse, f.eks. over 200 l samt en god isolering uden kuldebroer. Denne størrelse vil sikre at man kan optage et par timers overskudsenergi fra et typisk solcelleanlæg på 4-5 kW (Svarende til typiske batteriløsninger)
- Styringen skal kunne begrænse hvilke perioder der skal opvarmes i, for eksempel via et signal fra solcelleanlæggets inverter eller en timer. På den måde kan man sikre sig at beholderen er kold når solen begynder at skinne og der vil være overskud af el.
- Der bør sidde en elpatron direkte i beholderen, som evt. kan opvarme det sidste stykke, hvor varmepumpen ikke kan følge med. Her skal styringen kunne slukke helt for kompressoren, som ellers bare vil levere "varme til fuglene"
- Varmepumpen skal være egnet til formålet, d.v.s. den skal kunne tilpasse sig over et stort temperaturområde uden væsentlig forringelse af effektfaktoren.

Samlet hentes ca. 77% af den lagrede energi ud af systemet igen som varmt vand. En del af tabet vil dog komme husets rumpovvarmning til gode. Dvs. ca. samme virkningsgrad, som for batterier. Men økonomisk henites "færre penge" ud af varmepumpe-lageret, idet varmt vand normalt er meget billigere end el købt fra nettet.

Måling af varmetab

Når man overvarmer beholderen, vil der ske et større varmetab end normalt. Forsøget viser, at selvafledningen (varmetabet) fra et lille varmelager er ganske betydelig set i forhold til energindholdet. Temperaturen falder fra 50 til 34 grader på en uge. Virkningsgraden ved termisk energilagring vil derfor afhænge stærkt af hvor længe energien skal gemmes.