

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" på www.teknologisk.dk/37401. I projektet deltager Teknologisk Institut og Lithium Balance, som har leveret batteripakkerne. Projektet er støttet af Elforsk.

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. 70 – 75 %, 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 inverter-størrelse kan være fra halvt til $\frac{3}{4}$ 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 [beregningstøjet](#)

[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.

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 70 - 75 %).
- Tomgangstabet har stor betydning
- Selve batteriet 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 omkring 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 kredsproces.

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 effektfaktoren.
- 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 rumpovarming 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 vekslerettes til forbrug. Øverst til højre er varmepumpen med 180 liter brugsvands-lager.