Solceller – og lagring af elektricitet – Et Elforsk-projekt

- Vedvarende energi skal klare vores el-forsyning (og andet energi)
- Solcelleanlæg til husholdninger – med lagring
- Lagring af solcelle-el i batterier og varmepumpe

- Deltagere – Nilan og Lithium Balance

	140 m^2	200 m^2
1 voksen	3.300 kWh	3.700 kWh
2 voksne	4.200 kWh	4.700 kWh
2 voksne og 2 mindre børn	4.900 kWh	5.300 kWh
2 voksne og 2 større børn	5.300 kWh	5.800 kWh

Tabel 2. Vejledende årligt elforbrug i parcelhuse uden elvarme

Solcellestrøm ift. hele bygningens årlige elforbrug	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00	1,10	1,20	1,50	2,00	3,00	4,00	5,00
Udnyttelses-% u. elopvarmning	0,69	0,67	0,60	0,53	0,47	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,22	0,18	0,13	0,10	0,08
Udnyttelses-% m. elopvarmning	0,50	0,44	0,40	0,36	0,33	0,30	0,28	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,17	0,13	0,10	0,08	0,06

Tabel 3. Udnyttelsesprocent af solcellestrøm i husholdningen (egetforbrug), afhængigt af årlig solcelleproduktion i forhold til hele bygningens årlige elforbrug (med og uden elvarme). Tabellen tager ikke hensyn til anlæggets orientering og hældning. Se tabel 4. (Kilde: Bekendtgørelse om Håndbog for Energikonsulenter (HB 2016))

Solcelleanlæg i Danmark producerer ca. 950 kWh pr. kWp

Eksempel 1

En familie på 2 voksne og 1 mindre barn bruger årligt 4500 kWh (Se tabel 2.) Der etableres et 2 kW anlæg på et tag, som vender mod sydvest og hælder 40 grader.

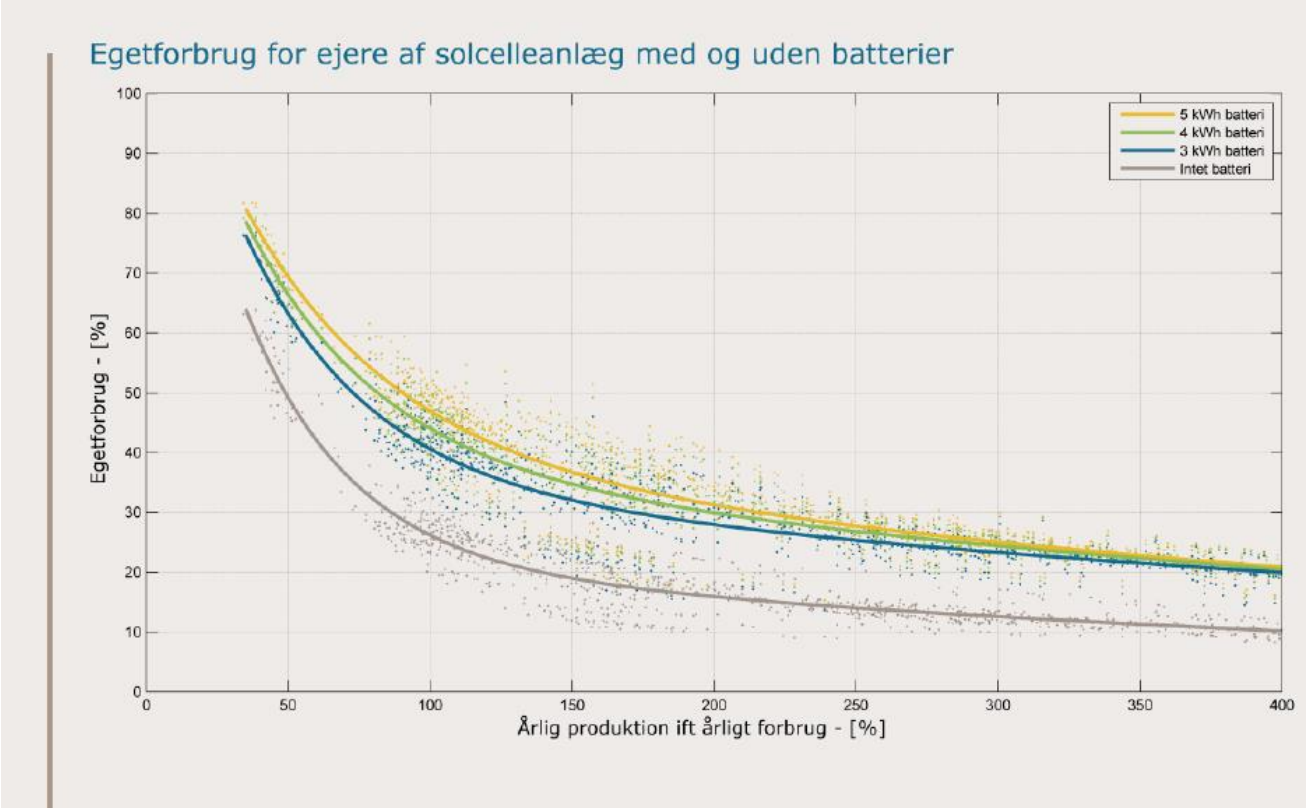
Anlægget producerer så 950 kWh x 2 x 0,91= ca. 1740 kWh årligt (Se tabel 4)

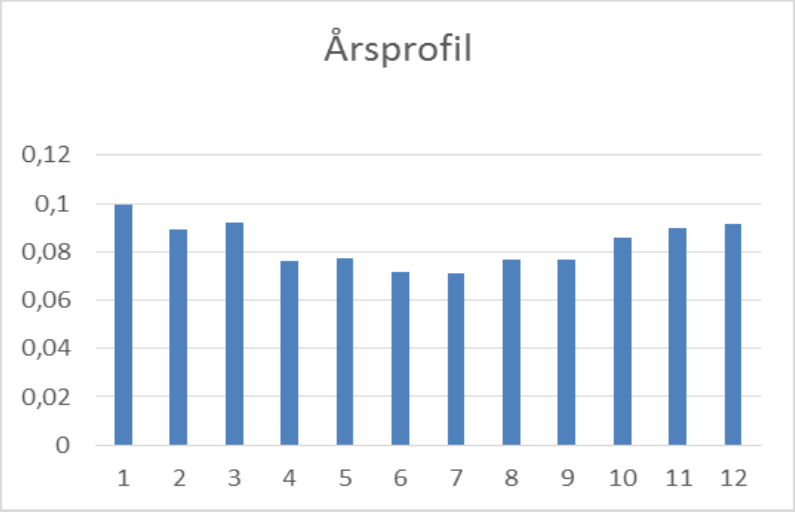
Solcellestrøm i forhold til hele bygningens årlige forbrug = 1740/4500= 0,39.
Egetforbrug = 53 % (Se tabel 3) dvs. 1740 x 0,53= 922 kWh.

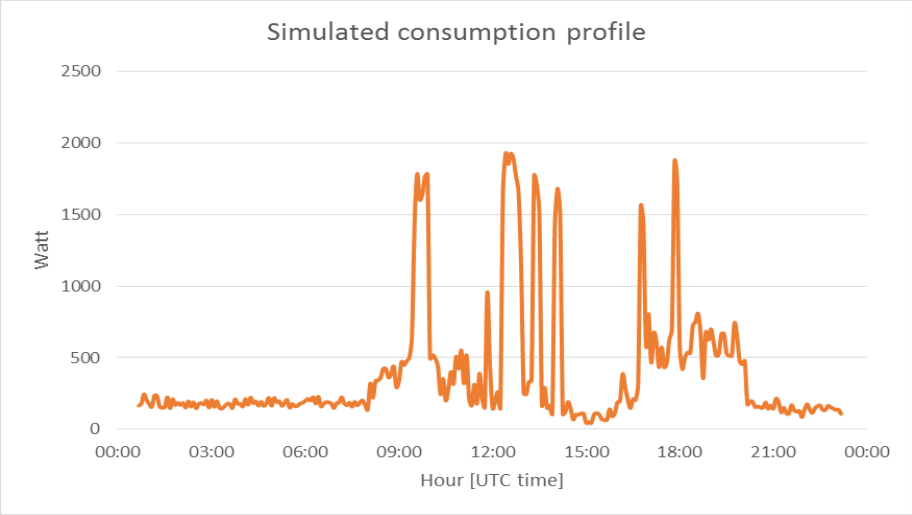
- Værdi egetforbrug: 2,20 kr pr. kWh x 922 kWh = 2.028 kr.
- Værdi salg: (1740 kWh – 922 kWh) x 0,25 kr. = 205 kr.
- Samlet i årlig indtjening: 2.028 kr – 205 kr – 1.000 kr (Afgift)= 1.232 kr.

Produktion vs forbrug

- Ikke to husstande er ens
- Elbaseret varme eller ej?
- Fasesummation?
- Sæson mismatch
- Døgn mismatch

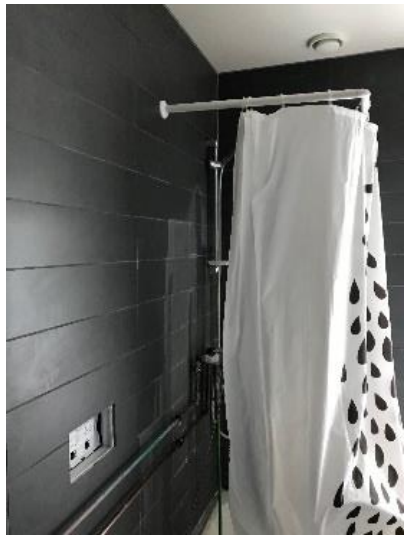






Produktion og forbrugsdata

- Solcelleproduktion 30 kWh pr. solskinsdag (6 kW anlæg)
- Dagsforbrug – el 11 kWh i gennemsnit (4000 pr. år –mindre om sommeren)
- Brugsvand – ca. 6 kWh (2000 kWh/år)



- Dvs. overskuds-el på solskinsdage

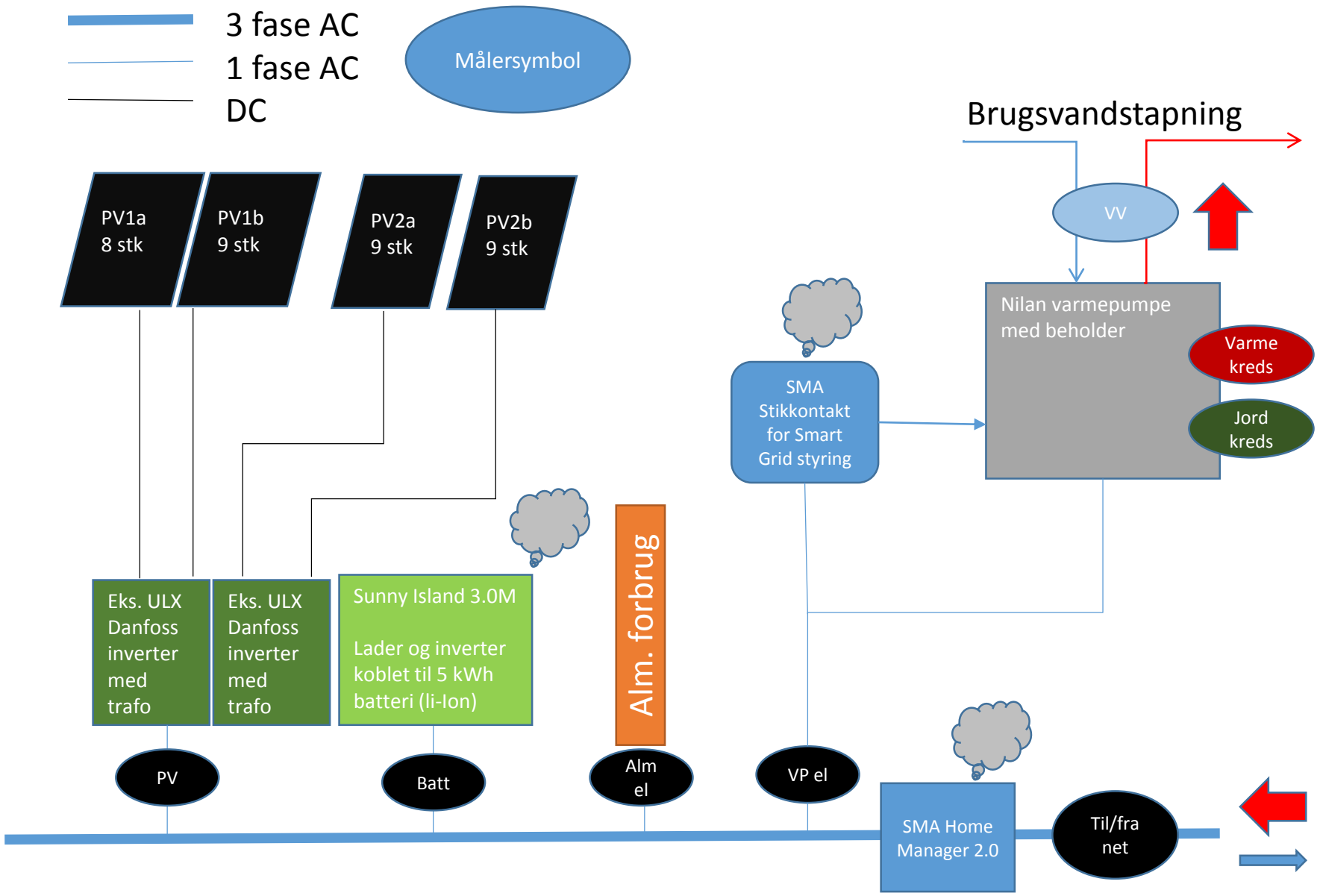
Simpel økonomiberegning pr kWh lager			
	Varmt vand	Batteri	Betongulv
Størrelse	200 liter	5 kWh	100 m^2
Udnytteligt el-optag pr. cyklus kWh	3 kWh	4 kWh	15 kWh
Ekstra investering pr. kWh lager kr.	1.333 kr.	5.000 kr.	267 kr.
Levetid år	15 år	12 år	30 år
Antal årlige cykler	250 cyklus	250 cyklus	150 cyklus
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**

Baggrund

- Vedvarende energi skal klare vores el-forsyning (og andet energi)
- To problemer/udfordringer ved vedvarende energi:
  - Lagring
  - Lav temperatur af varmekilde

Vi lagrer sol-celle-produceret elektricitet
i batterier og varmepumpe
Før brugte man el-nettet som ”lager”
Forskel på købs- og salgspris skal betale lagringen
Dvs. ca. 2 kr. pr. kWh for nye solcelleanlæg

Princip for energimålinger i EnergyFlexHouse

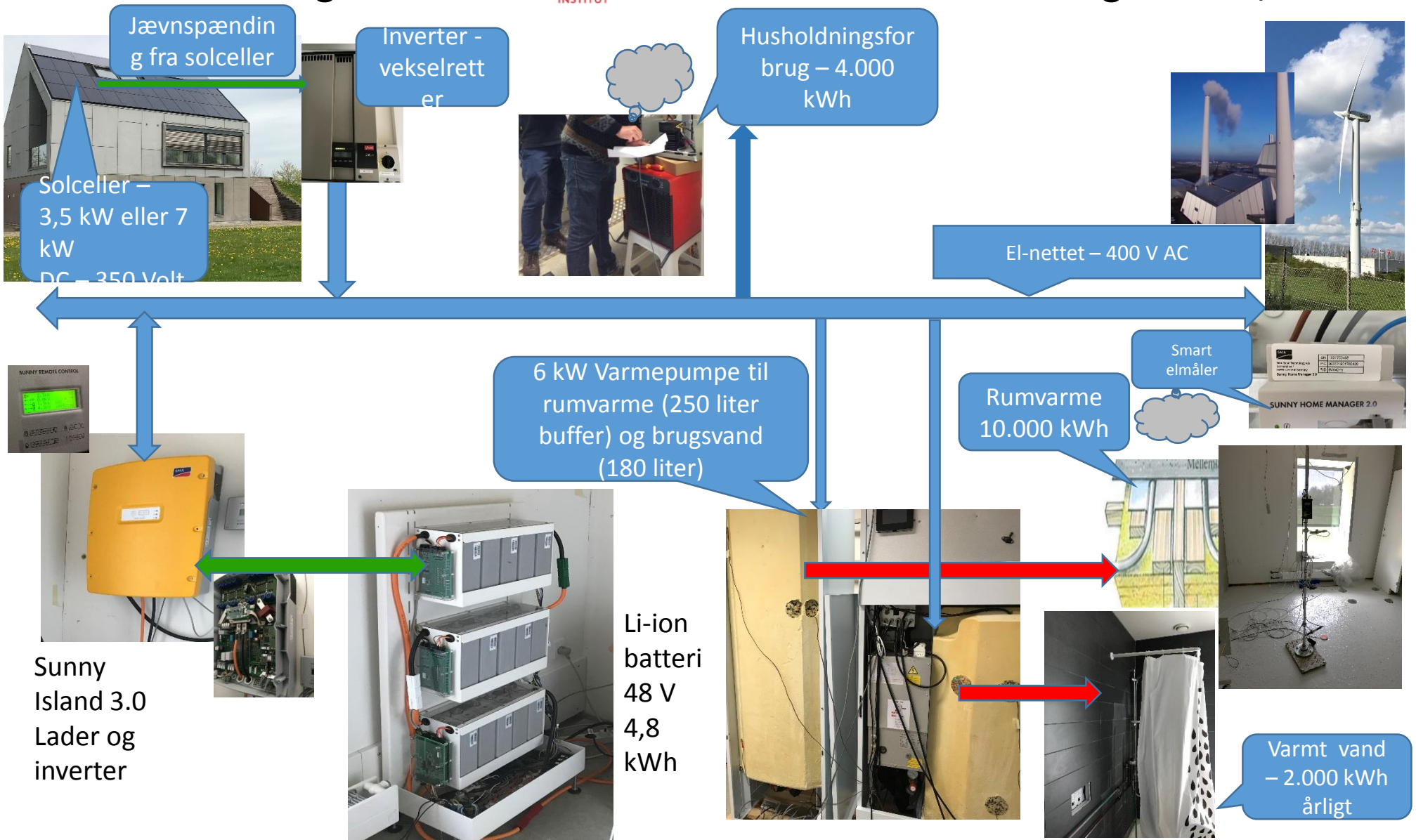


Derfor eksperimenter med lagre

Udnyttelse af sol-celle-elektricitet i batterier og varmepumpe i énfamiliehus

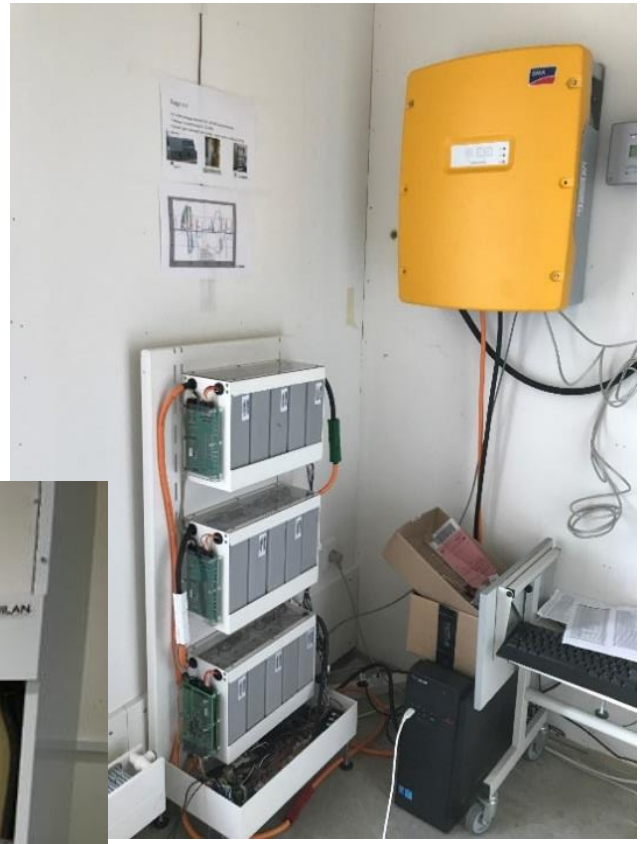
Projektet er støttet af Elforsk

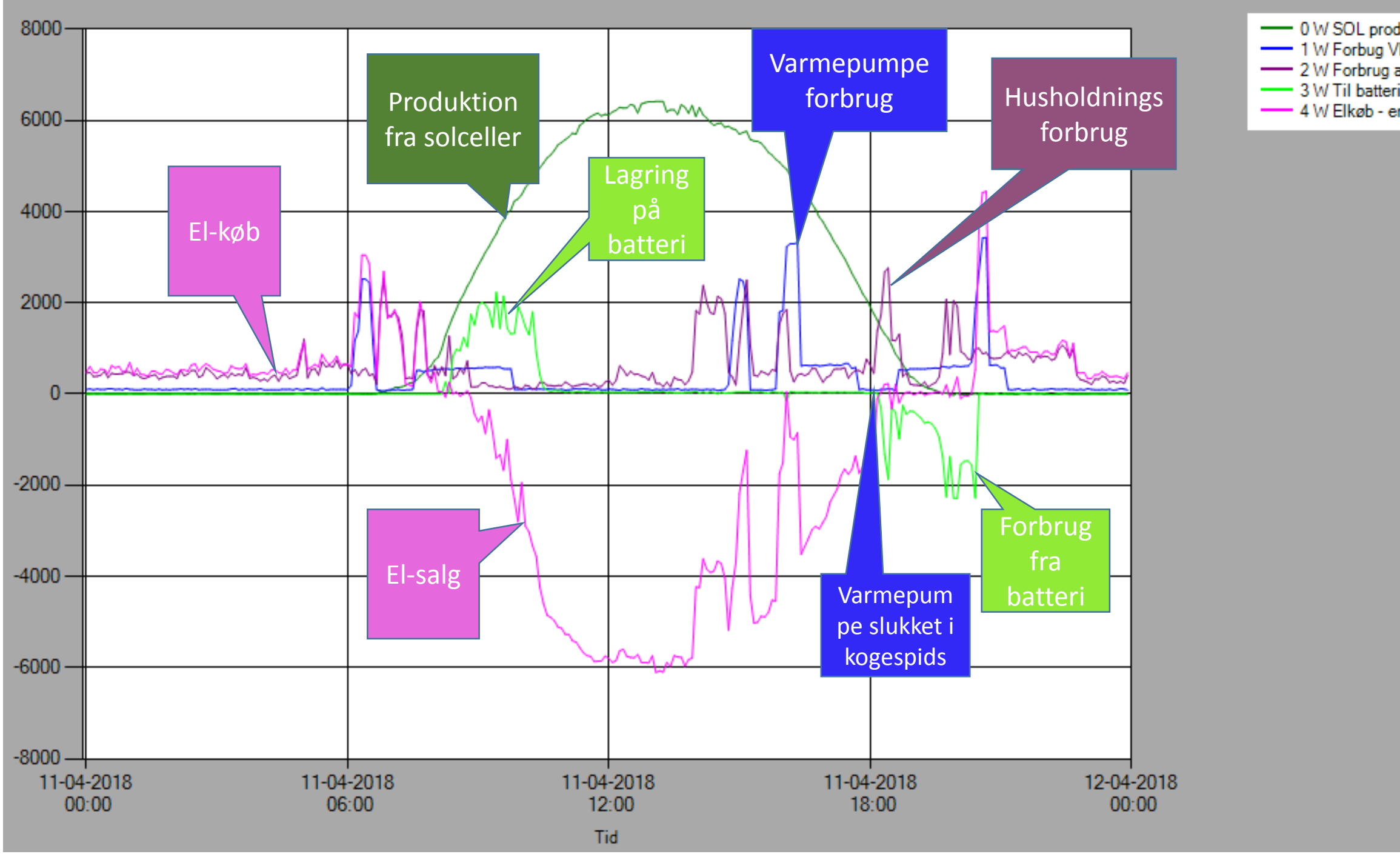
udført af Teknologisk Institut, Lithium Balance og Nilan A/S



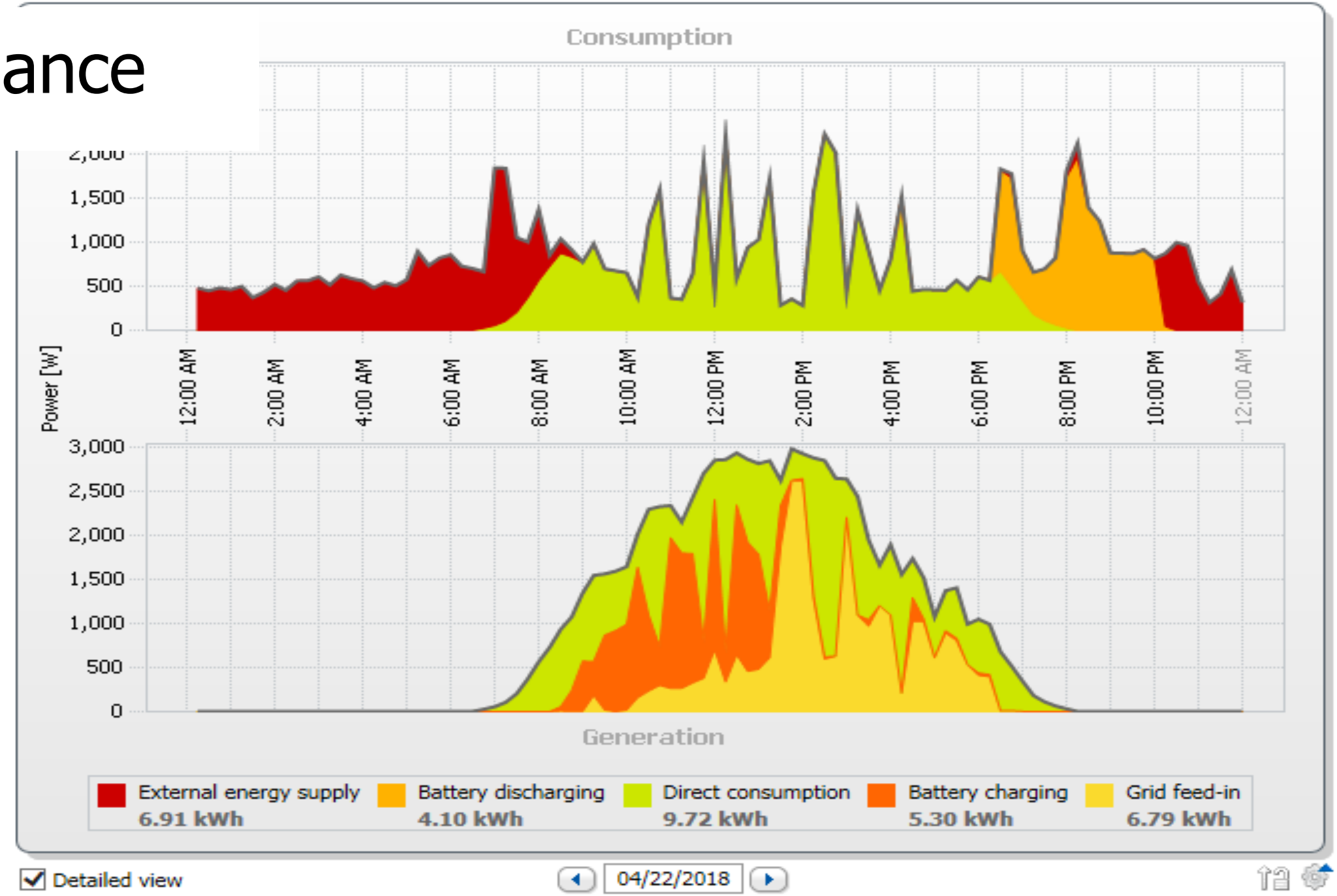
Forsøgsanlægget

- 2 x 3,5 kWp solcelleanlæg
- 4,8 kWh LiFePo batteri
- 2,3 kVA batteriinverter
- 6 kW(T) varmepumpe
- 250 l buffertank
- 180 l VVB med egen VP
- Smart electricity meter
- 2 x WiFi relæer

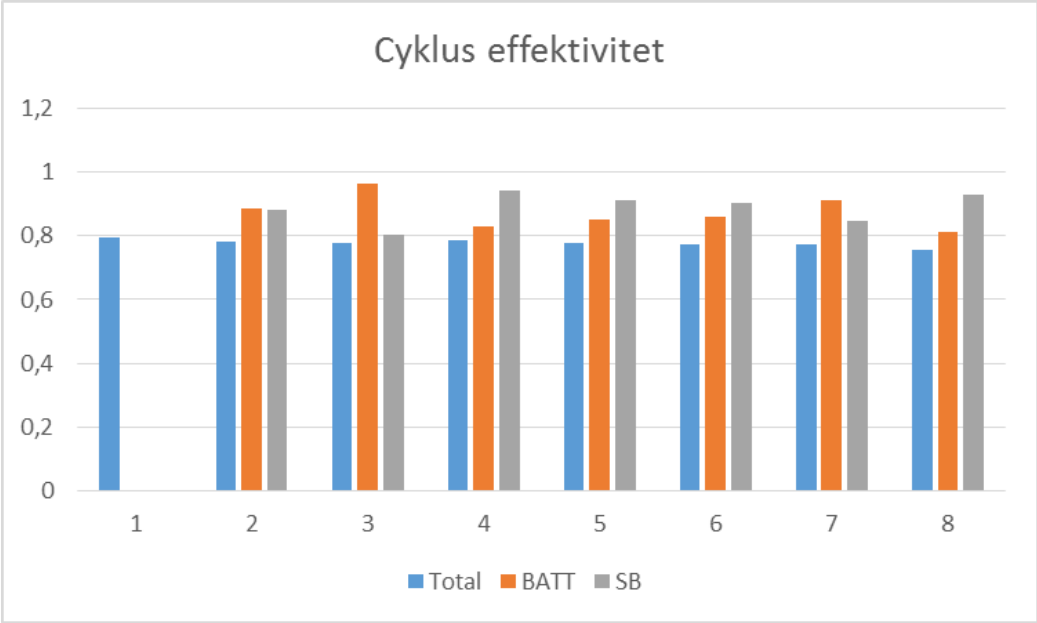


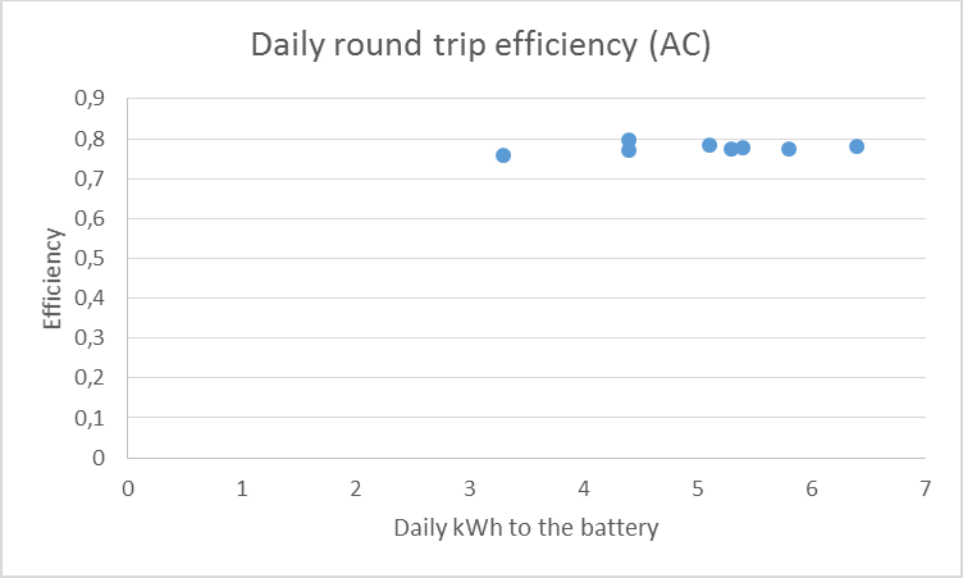

8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
11-04-2018 00:00
11-04-2018 06:00
11-04-2018 12:00
11-04-2018 18:00
12-04-2018 00:00
Tid
0 W SOL prod
1 W Forbug V
2 W Forbrug a
3 W Til batteri
4 W Elkøb - er
Produktion fra solceller
Varmepumpe forbrug
Husholdnings forbrug
El-køb
Lagring på batteri
El-salg
Varmepum pe slukket i kogespids
Forbrug fra batteri

El-balance

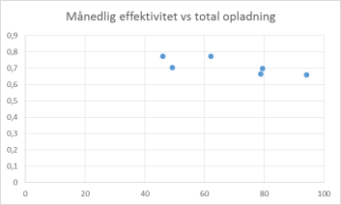

Consumption
2,000
1,500
1,000
500
0
Power [W]
12:00 AM
2:00 AM
4:00 AM
6:00 AM
8:00 AM
10:00 AM
12:00 PM
2:00 PM
4:00 PM
6:00 PM
8:00 PM
10:00 PM
12:00 AM
3,000
2,500
2,000
1,500
1,000
500
0
Generation
External energy supply
6.91 kWh
Battery discharging
4.10 kWh
Direct consumption
9.72 kWh
Battery charging
5.30 kWh
Grid feed-in
6.79 kWh
Detailed view
04/22/2018

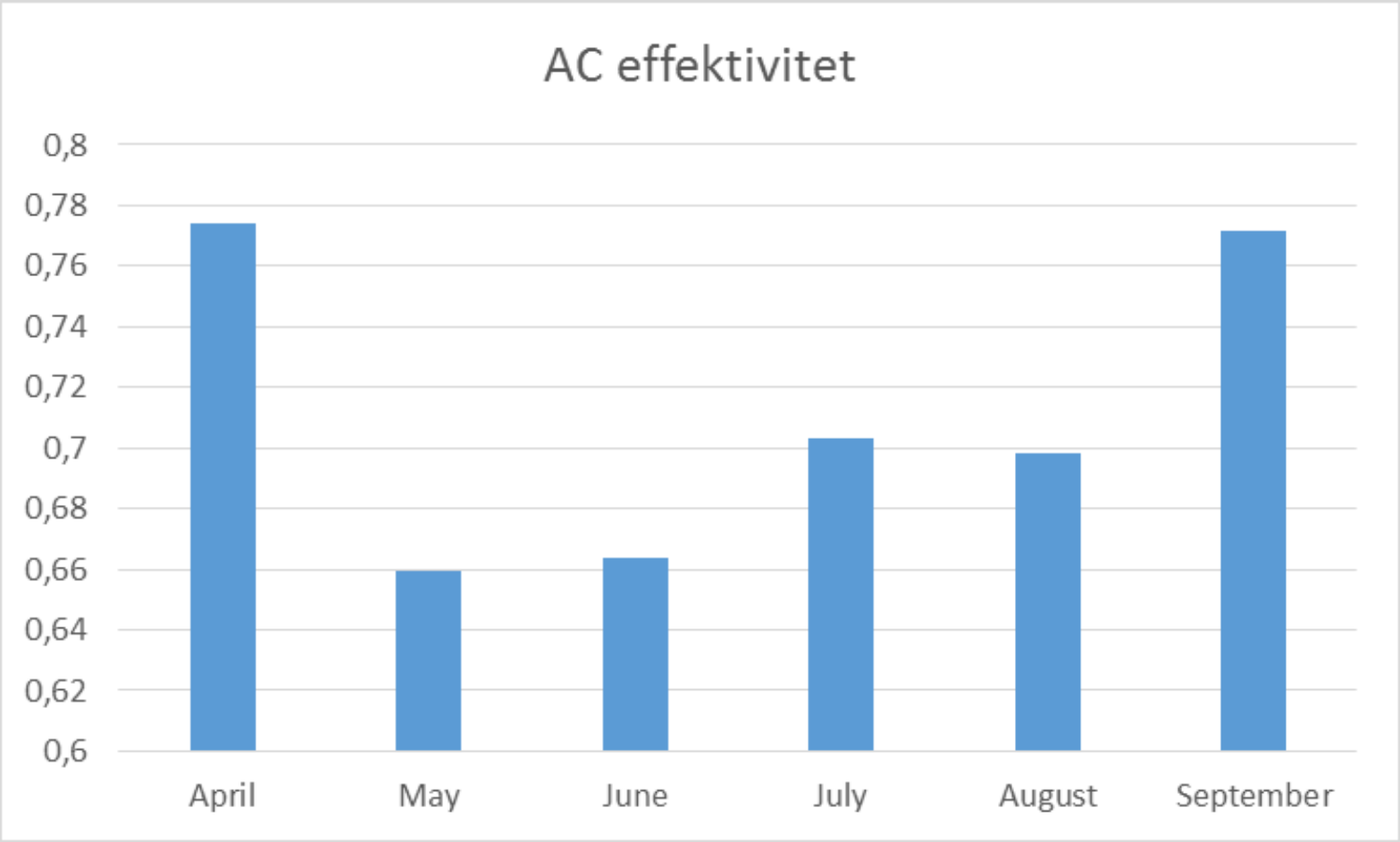
Batteripakken april 2018



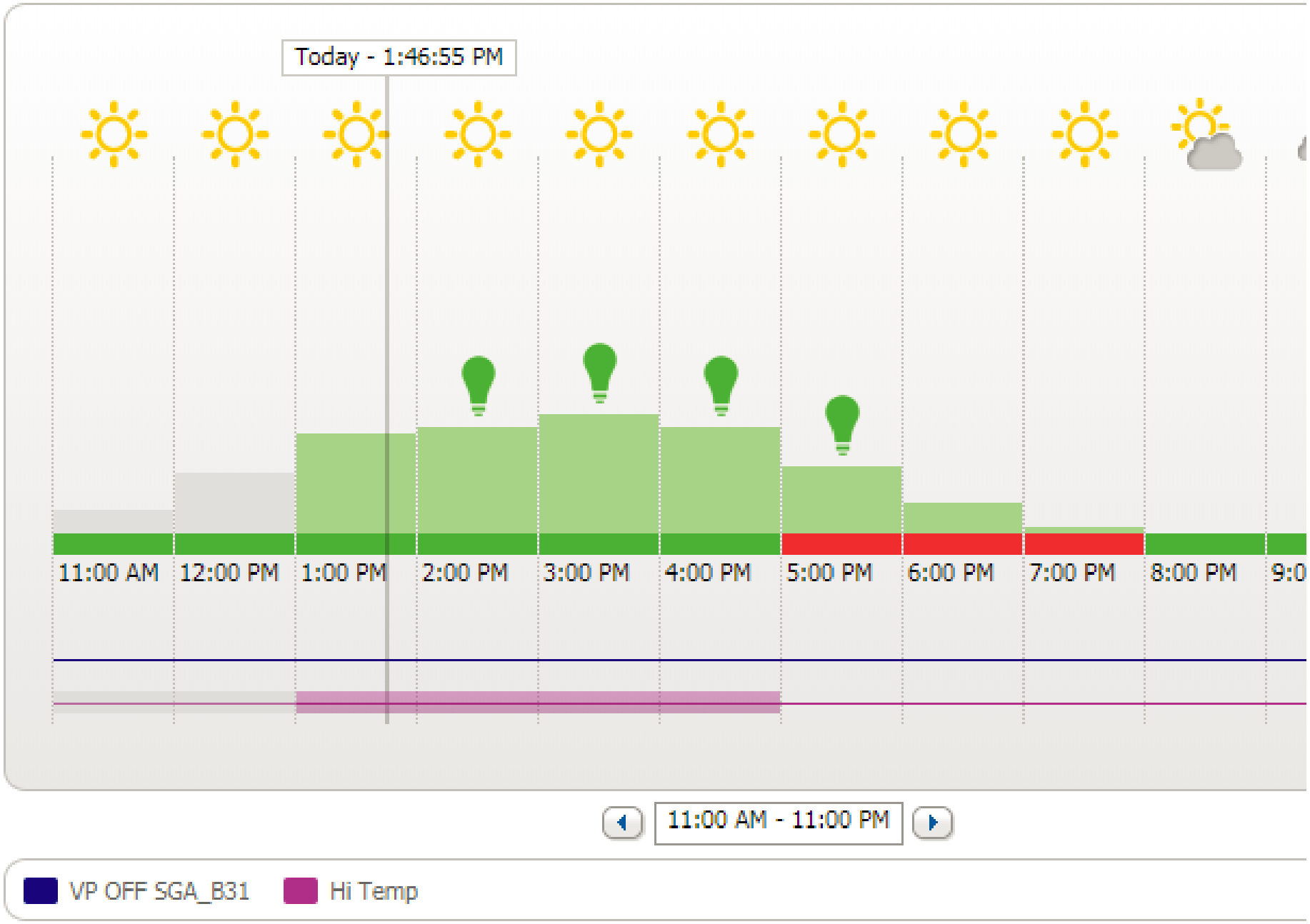


2018 - samlet batterieffektivitet (op og afladning)





Forecast and Recommended Action



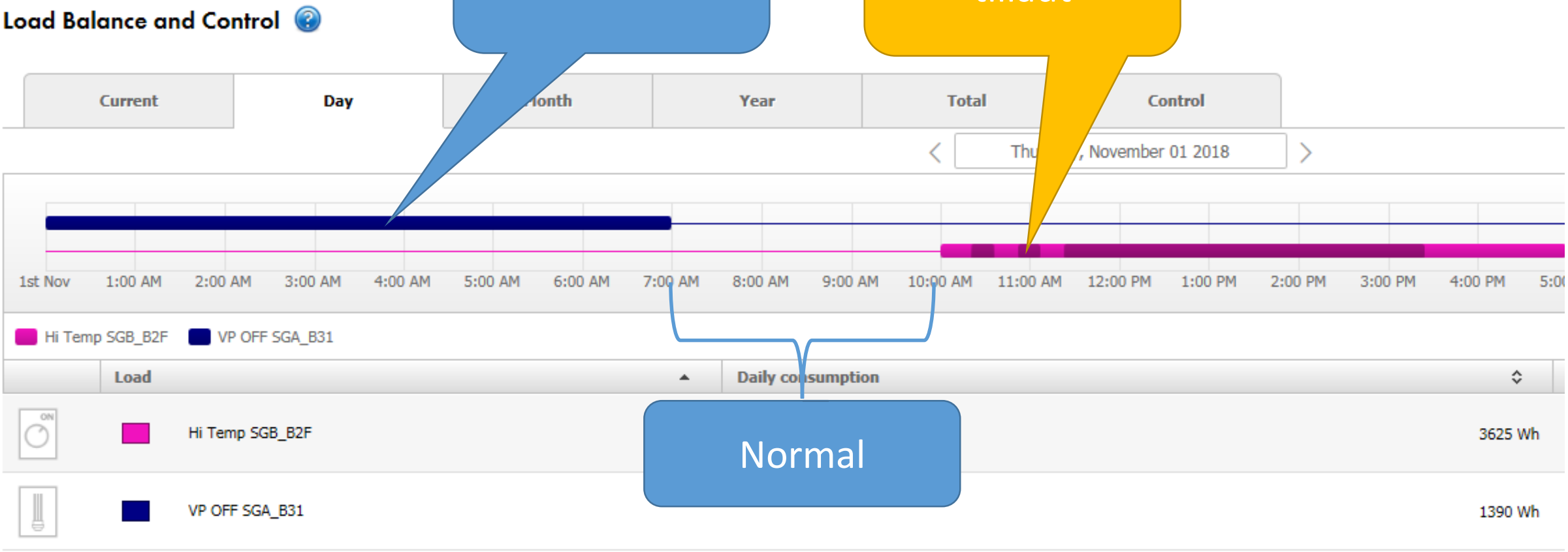
D. 17. april – solen kom frem ved 12-tiden – så den tillader hævet temperatur i varmepumpen

Sunny Portal

TEKNOLOGISK INSTITUT

VP slukket

Høj temp. tilladt



Normal

Erfaringer også fra tidligere projekt

- cykluseffektivitet på ca. 0,7 – 0,75 (incl. Danfoss inverter)
- Men meget dårligt ved lave laster og desuden er der tomgangsforbrug
  Selve batteriets virkningsgrad er høj: 95 – 97 %
- Flere cykler end vi regnede med
- Støj fra ind- og udkobling

Varmelagring /overslagsberegning

- Ved SG drift er det muligt at hæve sætpunktet med op til 10 K for såvel buffertanken som varmtvandsbeholderen. Samlet volumen = 250 + 180 = 430 liter.
- Q = M*Cp*dT = 430 kg * 4,186 kJ/kgK * 10 K = 18000 kJ = 5,0 kWh varme
- Gulvets masse = 2300 kg/m3 * 0,1m*100m2 = 23000 kg
- Q = M*Cp*dT = 23000 * 2,38 kJ/kgK * 3 K = 164220 kJ = 45,6 kWh varme
- Fleksibelt elforbrug med VP vil være 15-20 kWh/cyklus

Varmelagring ved at hæve sætpunkt:

TEKNOLOGISK INSTITUT

- 430 liter der hæves 10 grader=
- Q = M*Cp*dT = 430 kg * 4,186 kJ/kgK * 10 K = 18000 kJ 5,0 kWh varme
- Gulvets masse = 2300 kg/m3 * 0,1m*100m2 = 23000 kg =
- Q = M*Cp*dT = 23000 * 2,38 kJ/kgK * 3 K = 164220 kJ = 45,6 kWh varme
- Fleksibelt elforbrug med VP vil være 15-20 kWh/cyklus

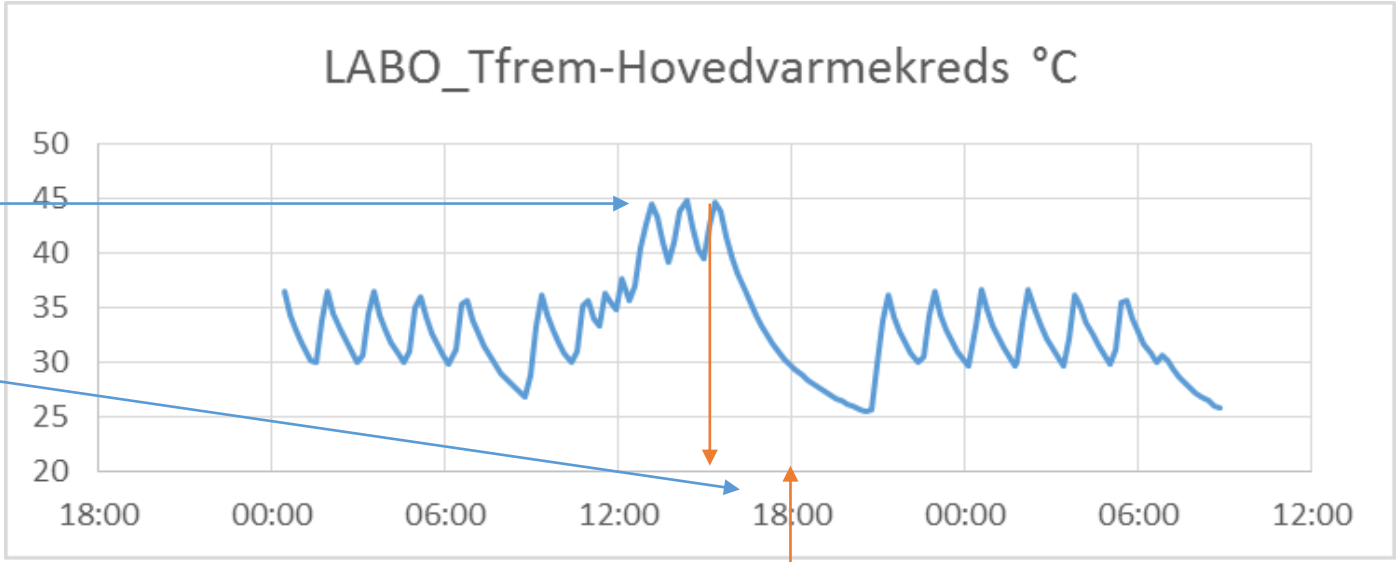
(Med virkningsgrad (COP) på ca. 3 på varmepumpen)

Varmelagring i betongulv

TEKNOLOGISK INSTITUT

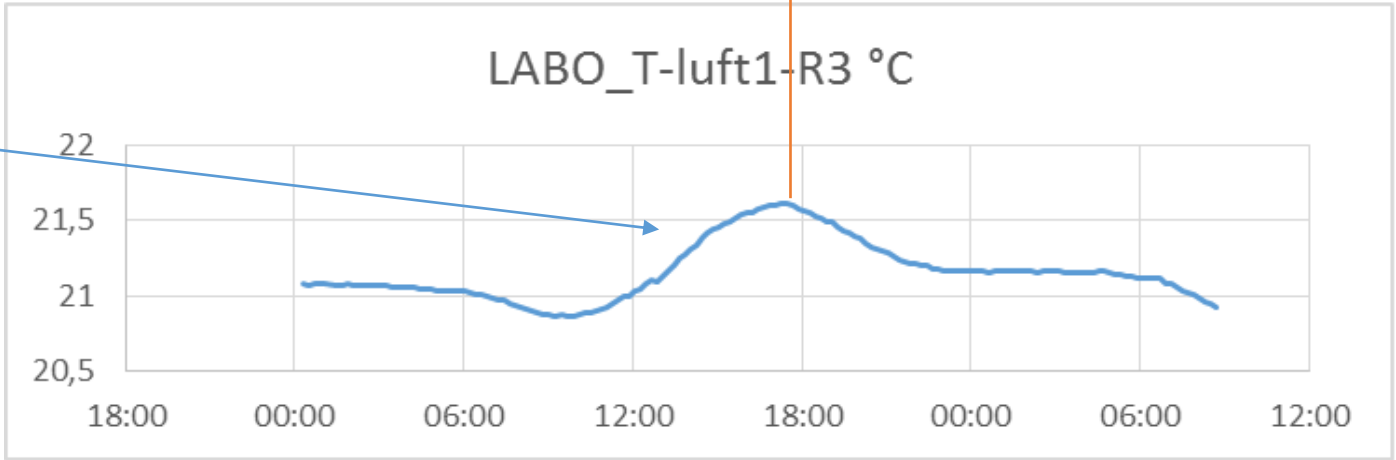
Temperaturen i buffertank hæves 10 grader.

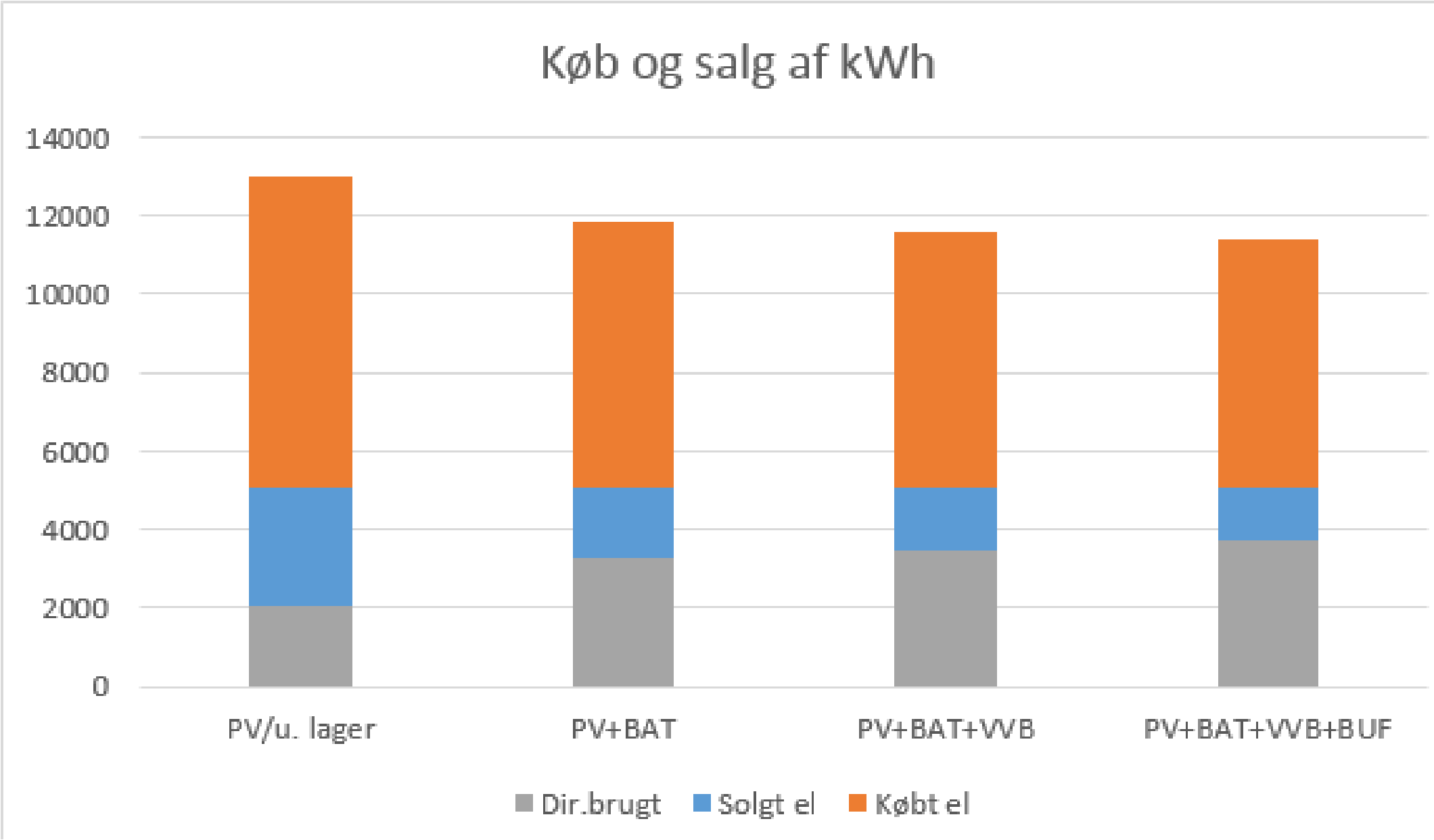
3 timers forsinkelse

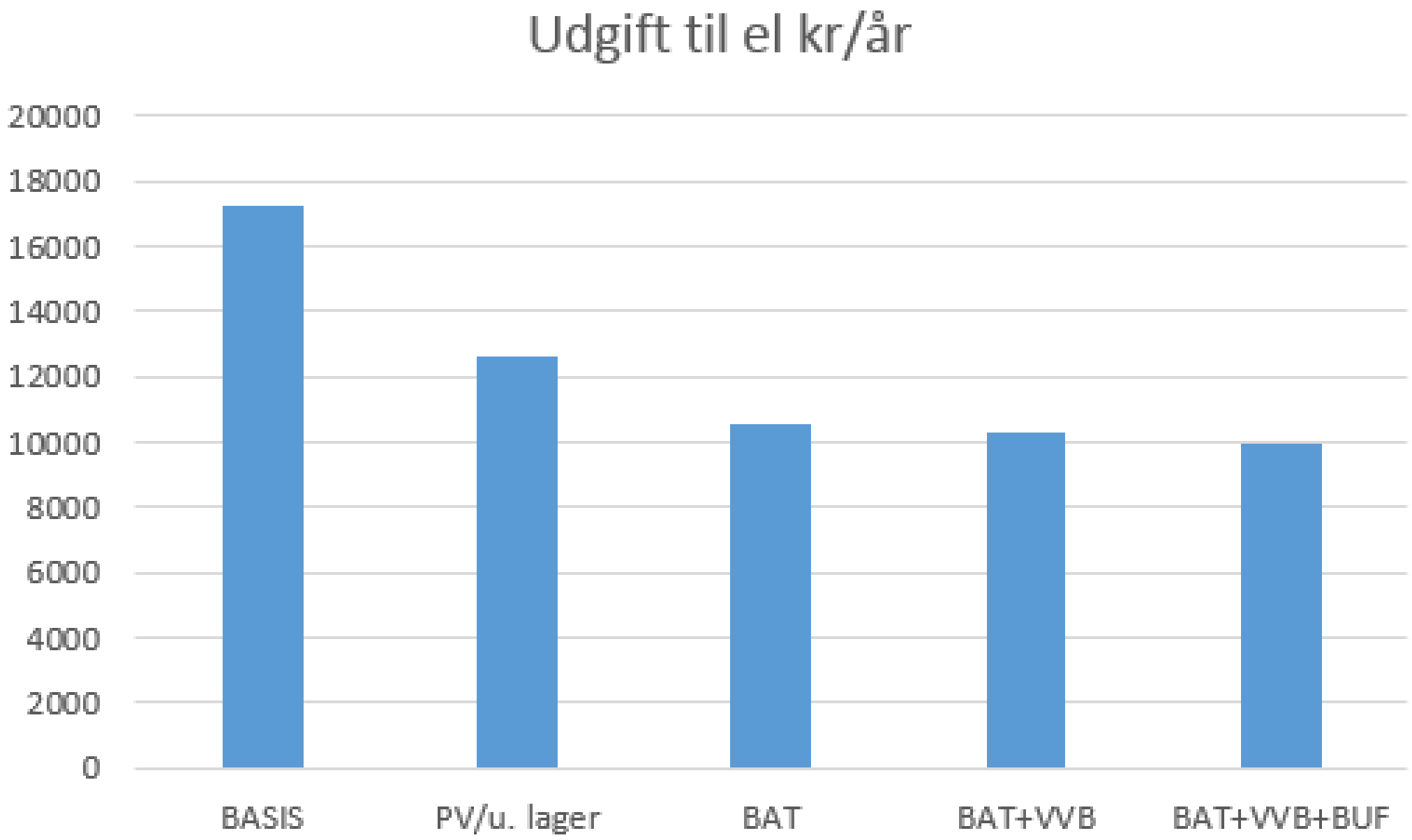


26-27/11

Ved. 10 grader højere fremløbstemperatur kun ½ til 1 grad øget luft-temperatur




Køb og salg af kWh
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
PV/u. lager
PV+BAT
PV+BAT+VVB
PV+BAT+VVB+BUF
Dir.brugt
Solgt el
Købt el


Udgift til el kr/år
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
BASIS
PV/u. lager
BAT
BAT+VVB
BAT+VVB+BUF

Lagring i batteri – blysyre – IK?

TEKNOLOGISK INSTITUT

- Bøvl og mere bøvl når man bruger forskellige komponent-leverandører
- Samlet virkningsgrad under 75% - hvorfor?

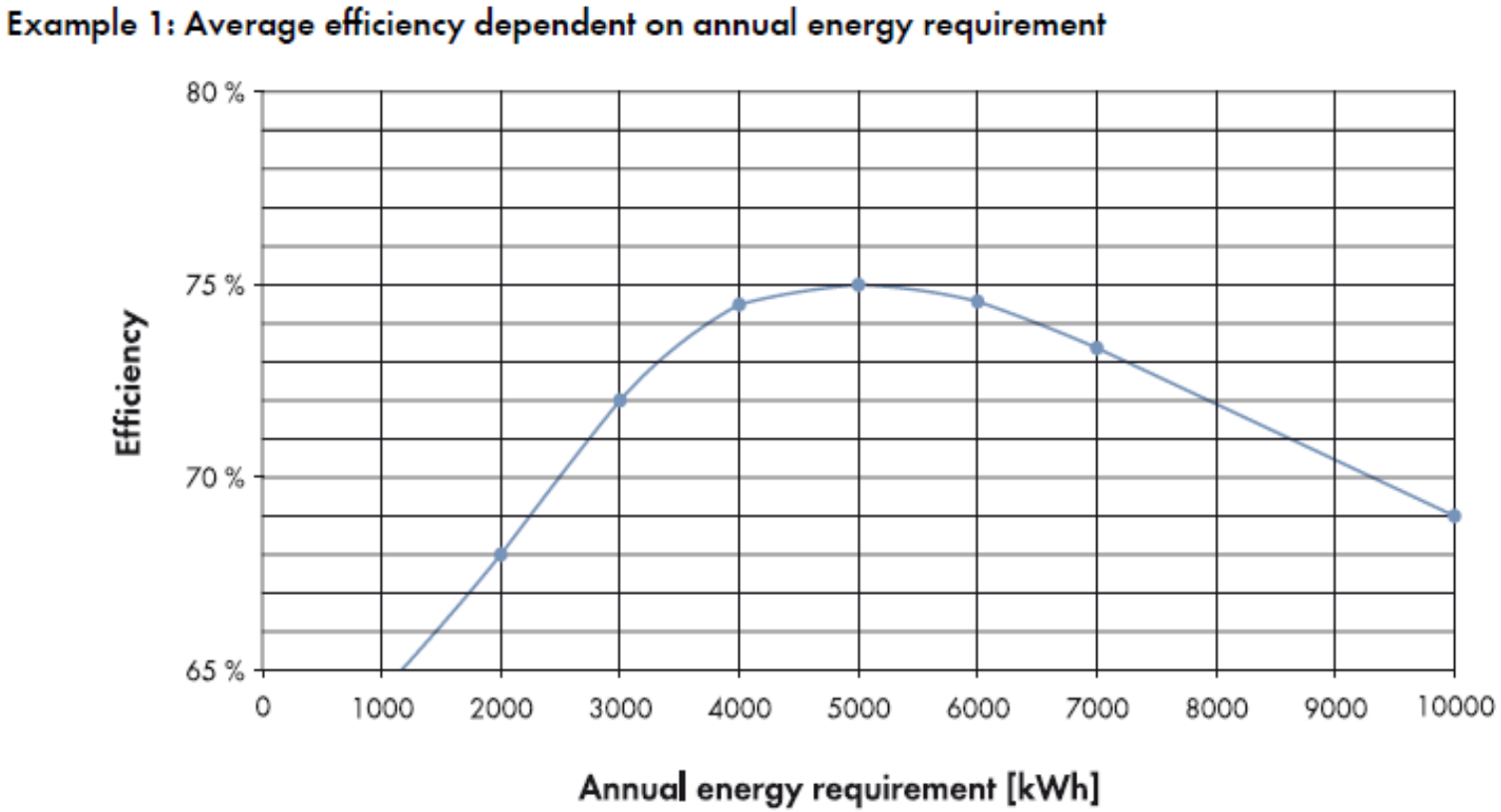


Figure 2: Average efficiency of an SMA Flexible Storage System with a Sunny Island 6.0H, a lead-acid battery with a usable battery capacity of 5 kWh and a PV generation of 5,000 kWh per year

Styring via inverterens web-portal

- SunnyPortal nu sat op med to kriterier:
- Varmepumpen kan hæve temperaturen kl. 8-17 hvis der er solstrøm nok
- Varmepumpen slukkes kl. 17-20 hvor strømmen (potentielt) er dyr (kan køres med ur)
- Batteriets opladning styres fra Lithium Balance BMS

Hvad har vi lært?

- Der er altid uforudsete vanskeligheder med nye koncepter
- Vælg komponenter fra samme firma (med teknisk kundesupport)
- Konverteringstabene kan være betydelige ved dellast/tomgang
- Selve batteriet har fungeret godt, men der har været problemer med kommunikationen til inverter/lader
- Regulering af batteriet i forhold til import/eksport har fungeret godt
- Inverteren kunne med fordel være mindre (bedre virkningsgrad i gennemsnit)

God effektivitet – og god mening

- Effektivitet i batterilagringen 75 % - (ikke ved lave laster)
- undgå at lade og aflade med helt lave effekter i forhold til inverterens arbejdsområde
- Varmepumpens effektfaktor falder naturligvis drastisk, hvis man prøver at tvinge den op på temperaturer over 50 grader
- men selv med ren el-opvarmning giver det i dag økonomisk god mening at lagre sol-celle-el i vand.

Erfaringer

TEKNOLOGISK INSTITUT

- Samlet kan der kun lagres en lille del af solcelle-el en solskinsdag
- Økonomisk er der nu ikke meget at hente ved at lagre i batteri/varmepumpe (men ved eksisterende varmepumpe OK)
- Betongulv godt lager – men tjek gulvvarmekredsene (Praktiske VVS udfordringer ved varmelagring)
- Vælg komponenter fra samme leverandør – eller komponenter, der kan kommunikere
- Vælg kompontenter fra leverandør med god teknisk kundesupport
- Konverteringstabene til/fra batteri kan være betydelige ved dellast/tomgang – så det skal undgås

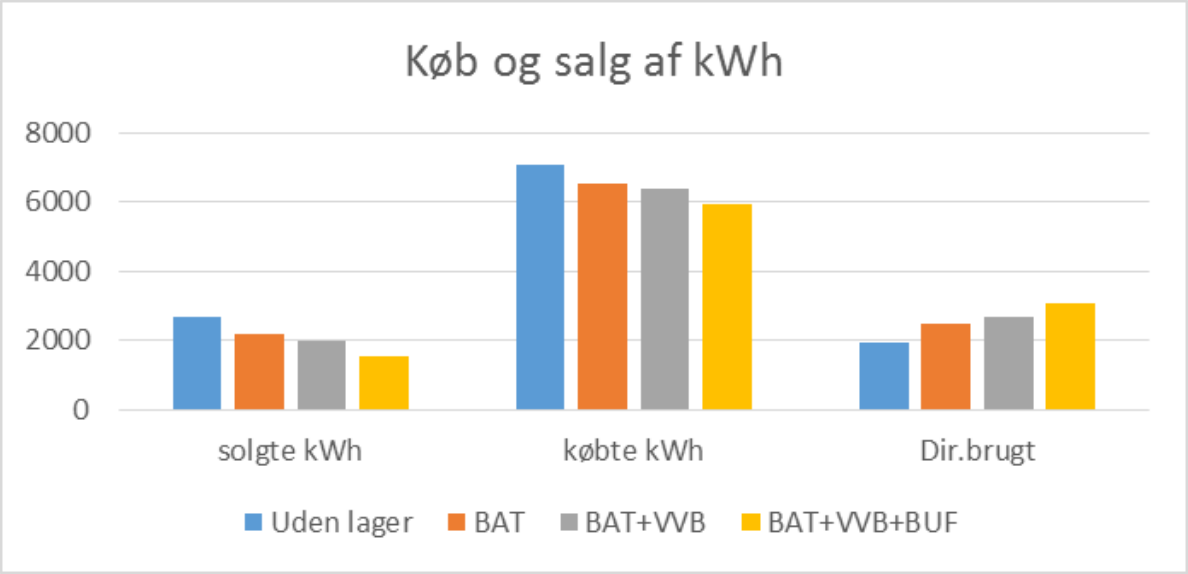
Perspektiver

TEKNOLOGISK INSTITUT

- Benyt evt. flere små invertere i serie
- Benyt batteri koblet direkte over solcellerne (forbliver på DC)
- Når alle eksisterende anlæg kommer på time eller øjebliksafregning kommer nyt marked for lagring
- Ved varierende elpriser tappes fra batteri
- Batterier kan lagre strøm fra fx vindmøller om natten
- Batterier kan minimere det maksimale effektbehov
- Når styring bliver udviklet, så den kan indrette sig efter sol- og pris-prognoser, vil varmepumpen være et godt lager

Beregningsværktøj

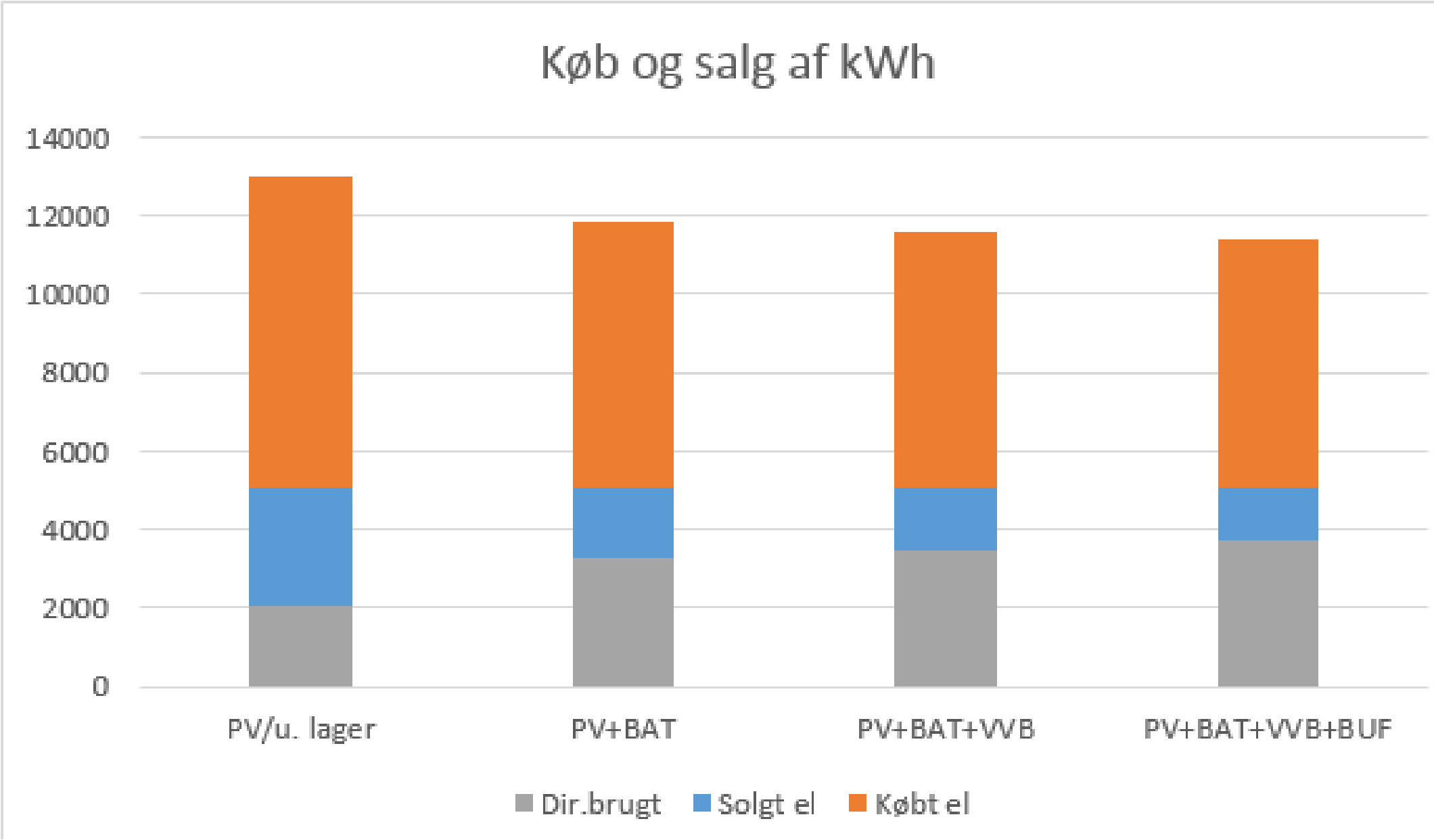
- Prioriteret anvendelse af egen el:
  - Alm. Forbrug
  - Batteriopladning
  - Forceret VP drift
  - Salg til nettet

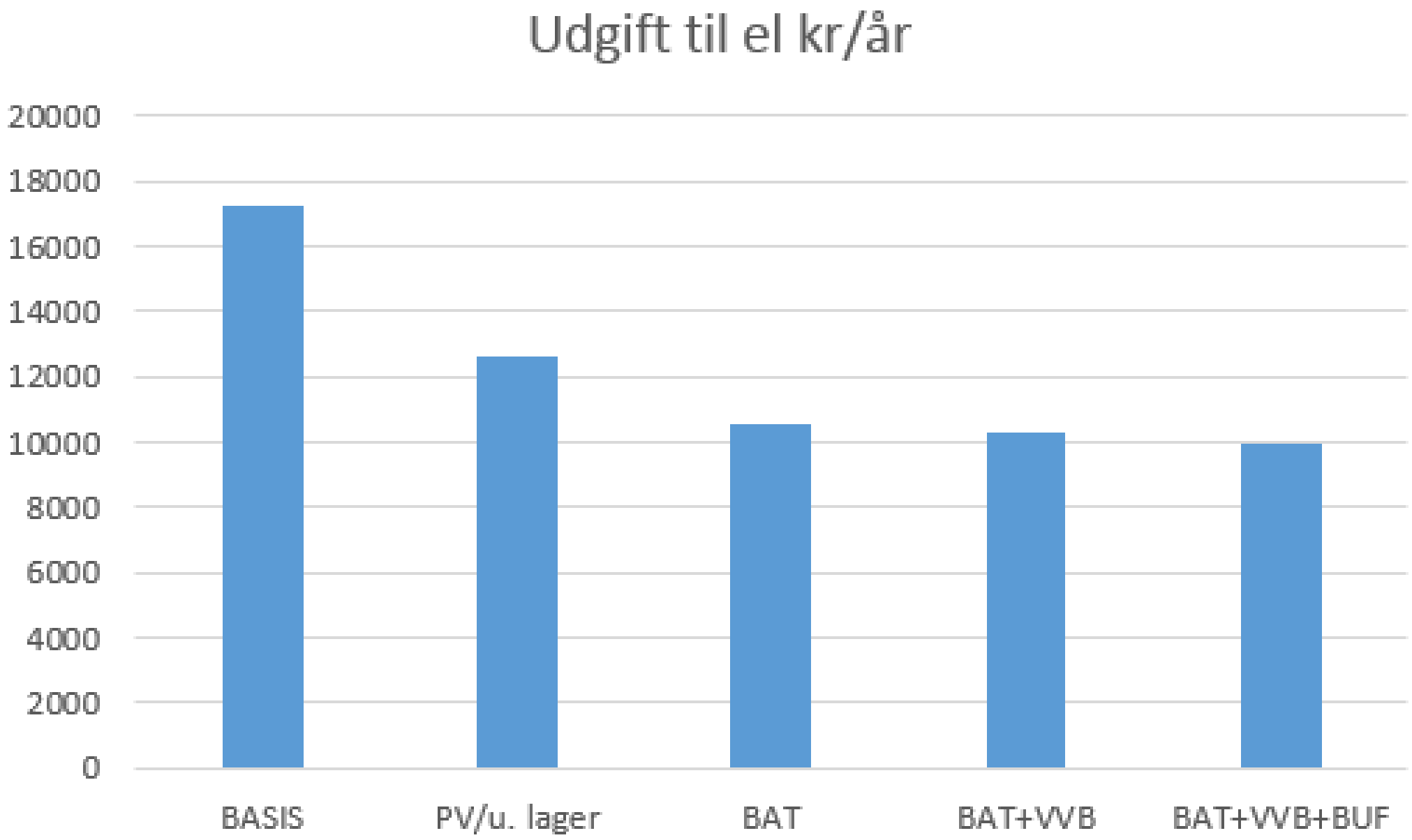


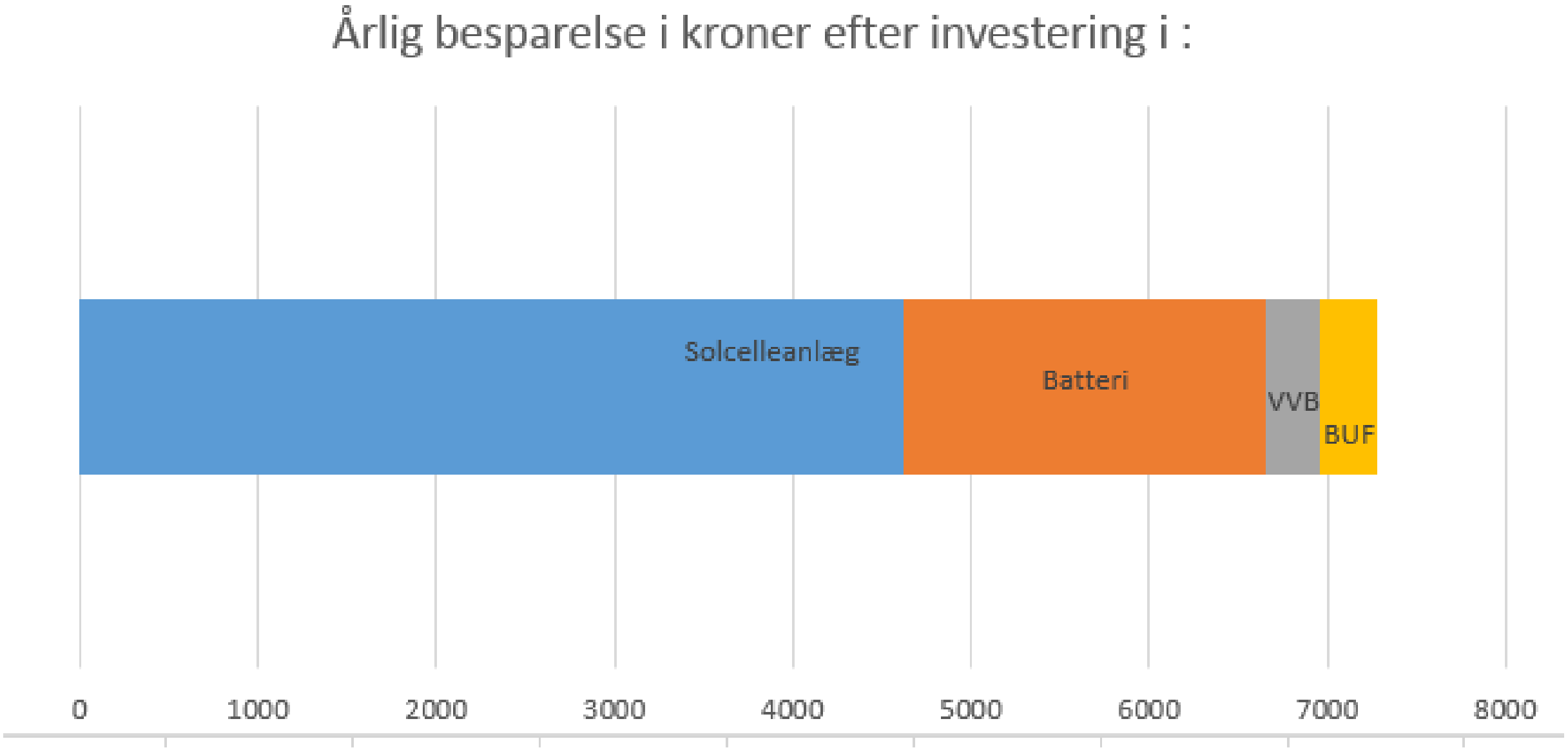
Lagerkapacitet kWh		
BAT	2	elektrisk
VVB	2	termisk
BUF	15	termisk

Beregningsværktøj

A	B	C	D	E
Husholdning elforbrug		4000	kWh el	Varmepumpe SCOP:(År)
Varmt vand fra el/VP		200	L/døgn	2,5
Varme fra el/VP		15000	kWh lev.varme	3
ELPRODUKTION				
Solcelleanlæg i kWp		5		
Hældning fra vandret		45		
Afvigelse fra syd		0		
ENERGILAGER				
Batteri, effektiv kapacitet		5	kWh elektrisk	Temperaturændring K
VVB (Varmtvandsbeholder)		5	kWh termisk	15
Buffer i varmeanlæg		15	kWh termisk	5
ELTARIFFER				
Tarif kr/kWh til forbrugsel		2,2		
Tarif kr/kWh til elvarme		1,4		
Værdi af solgte kWh		0,35		

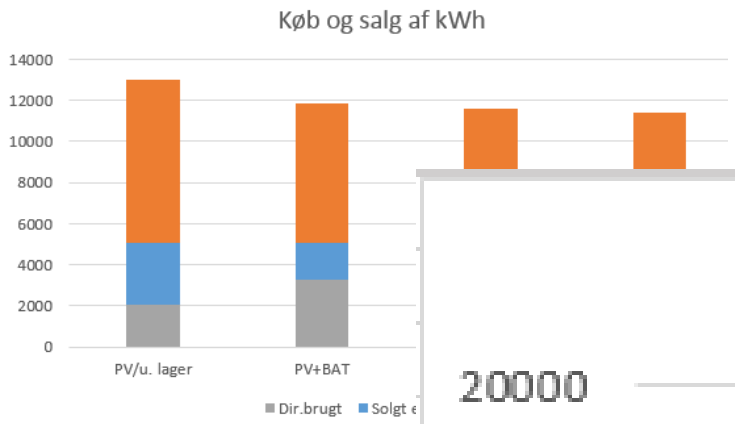

Køb og salg af kWh
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
PV/u. lager
PV+BAT
PV+BAT+VVB
PV+BAT+VVB+BUF
Dir.brugt
Solgt el
Købt el

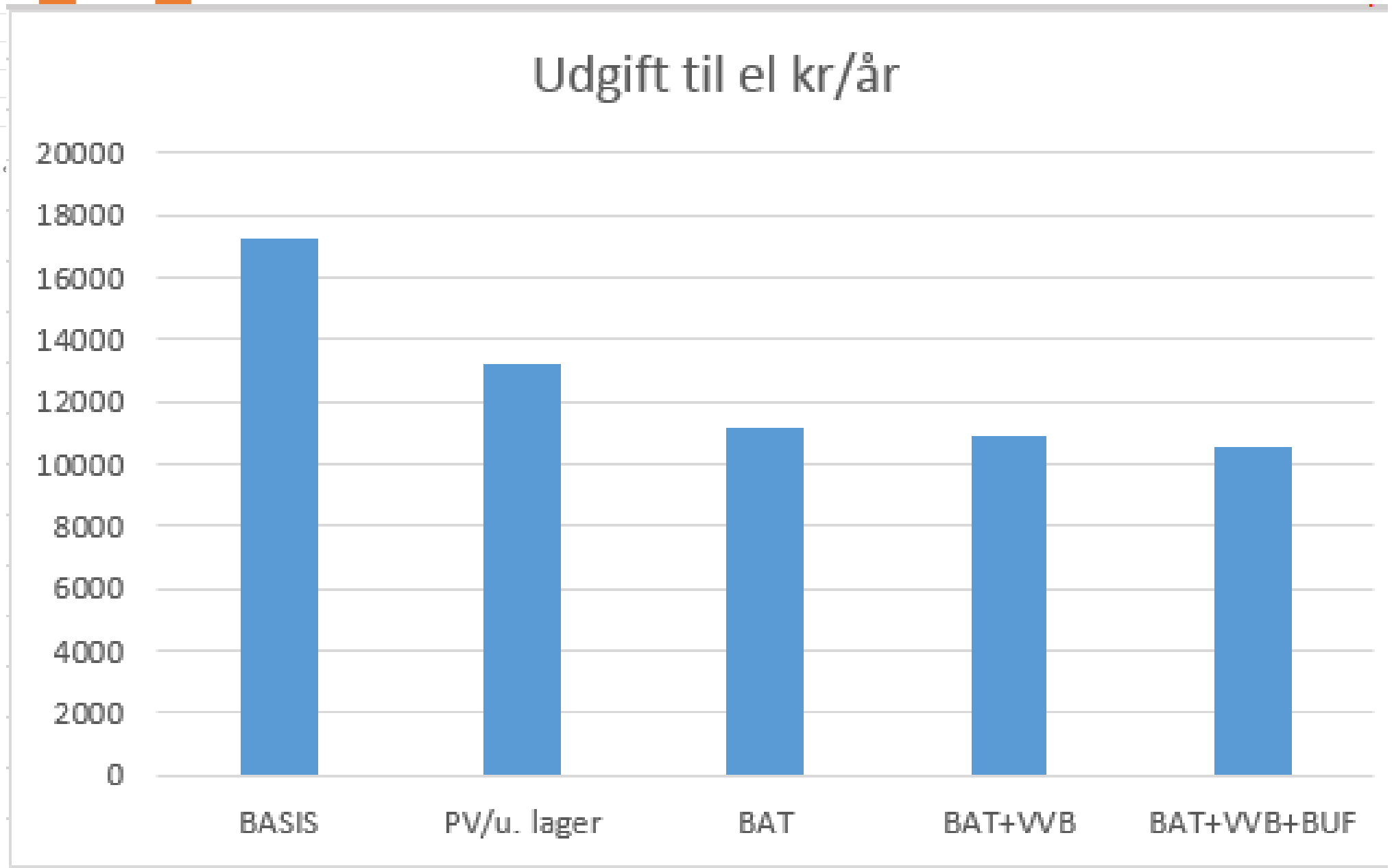

Udgift til el kr/år
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
BASIS
PV/u. lager
BAT
BAT+VVB
BAT+VVB+BUF

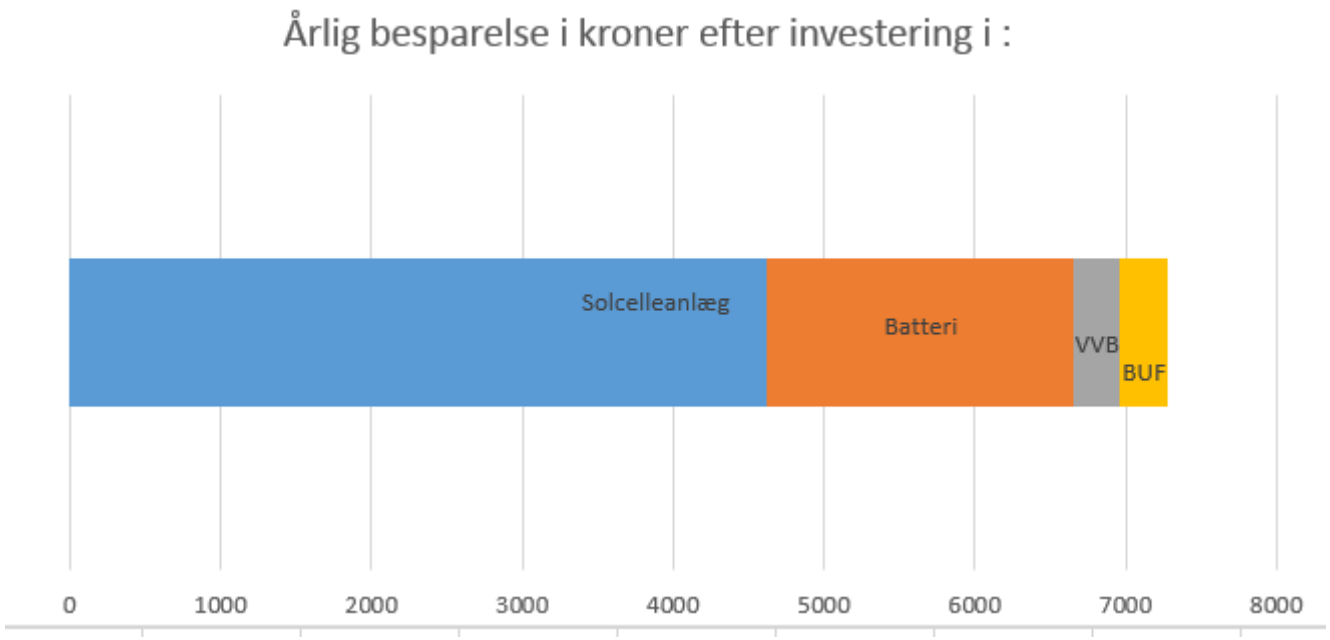

Årlig besparelse i kroner efter investering i :
Solcelleanlæg
Batteri
VVB
BUF
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000

Indtast selv økonomiske anlægsdata og levetid:					
	Investering	Levetid	Årlige udgif	Besparelse	Bal. Lev
PV anlæg	30000	25	2000	4622	35
Tillæg Batte	12000	10	200	2033	6
Tillæg VVB	2000	15	100	303	1
Tillæg varm	1000	15	100	319	2

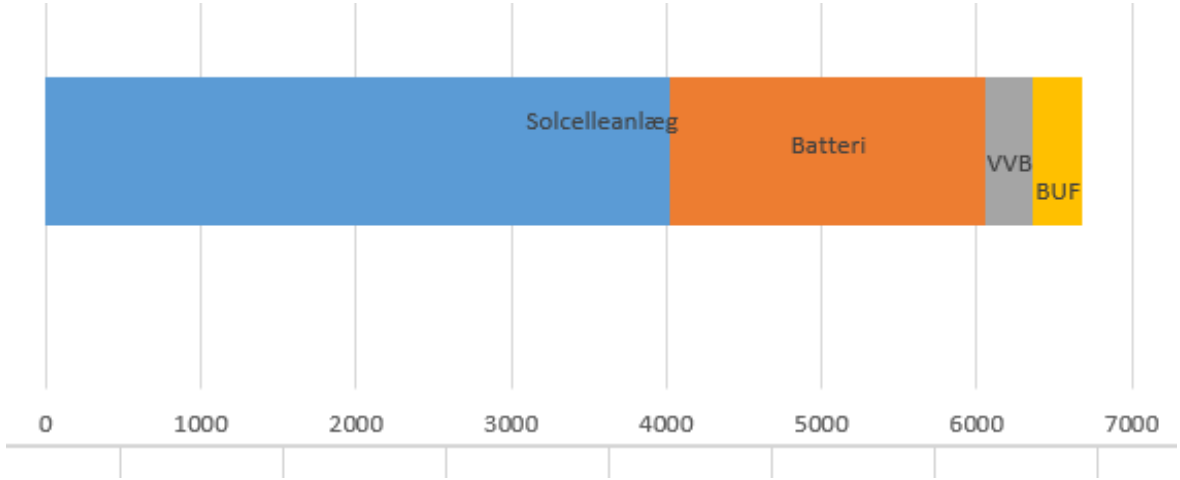
Skriv i de grønne felter	Primære data		Sekundære data
ÅRLIGT FORBRUG			
Husholdning elforbrug	4000	kWh el	Varmepumpe SCOP:(År)
Varmt vand fra el/VP	200	L/døgn	2,5
Varme fra el/VP	15000	kWh lev.varme	3
ELPRODUKTION			
Solcelleanlæg i kWp	5		
Hældning fra vandret	45		
Afvigelse fra syd	0		
ENERGILAGER			
Batteri, effektiv kapacitet	5	kWh elektrisk	Temperaturændring K
VVB (Varmtvandsbeholder)	5	kWh termisk	15
Buffer i varmeanlæg	15	kWh termisk	5
ELTARIFFER			
Tarif kr/kWh til forbrugsel	2,2		
Tarif kr/kWh til elvarme	1,4		
Værdi af solgte kWh	0,15		


Køb og salg af kWh
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
PV/u. lager
PV+BAT
Dir.brugt
Solgt e


Udgift til el kr/år
20000
18000
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
BASIS
PV/u. lager
BAT
BAT+VVB
BAT+VVB+BUF

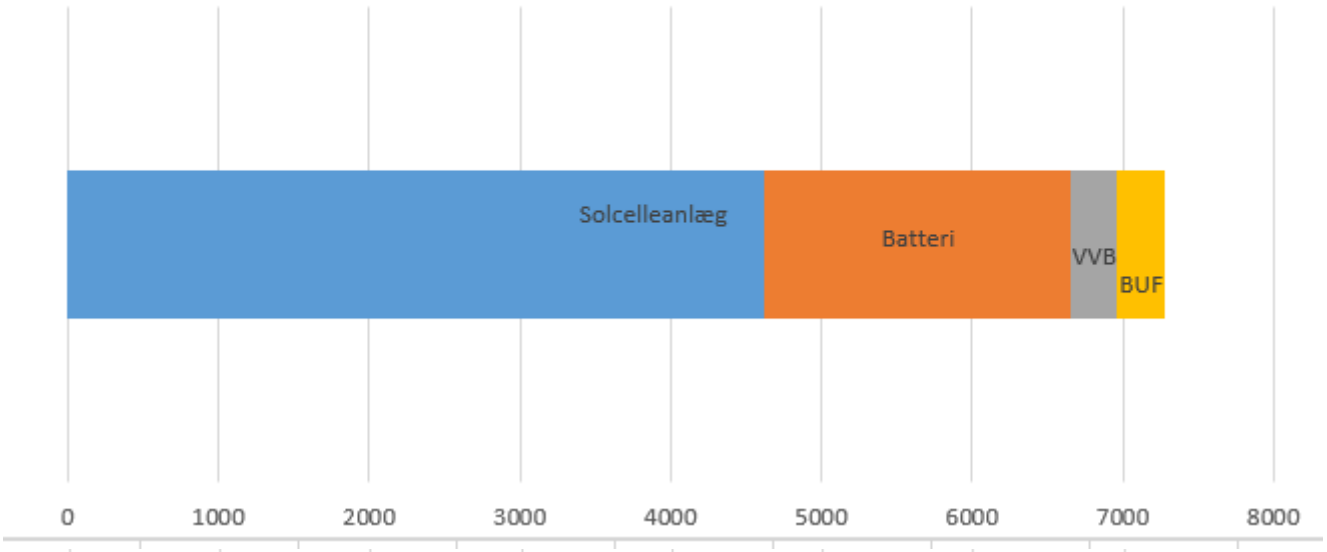


Ved 0,35 kr i salgspris

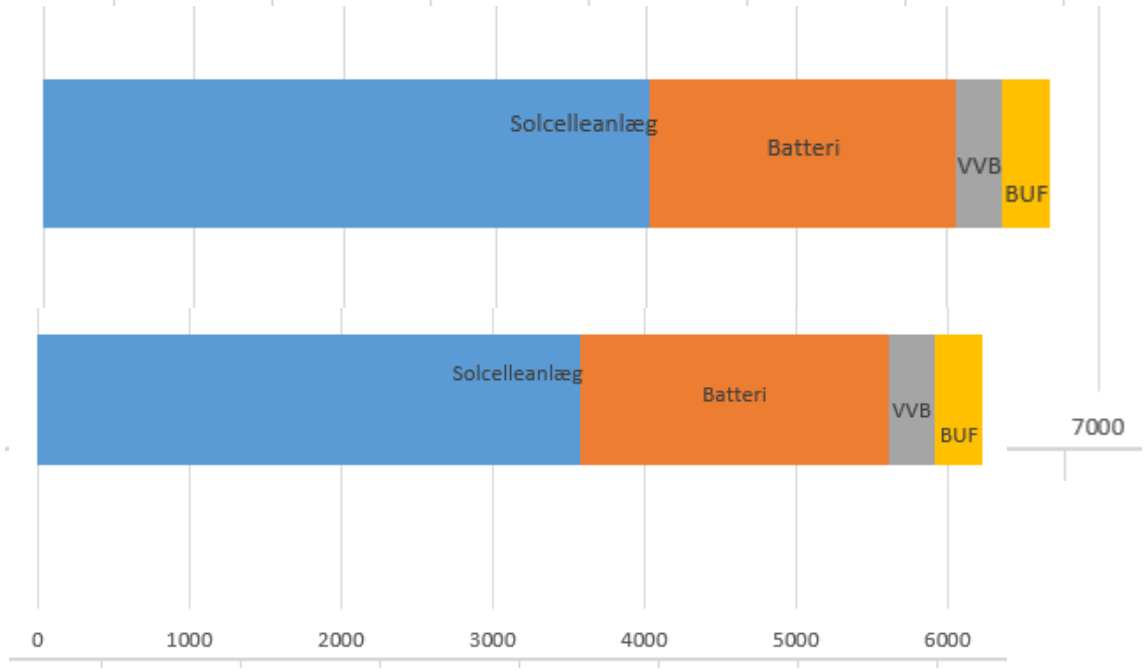


Ved 0,15 kr i salgspris

Årlig besparelse i kroner efter investering i :



Ved 0,35 kr. i salgspris



Ved 0,15 kr. i salgspris

Ved 0,00 kr. i salgspris

Digitale værktøjer

www.bis.teknologisk.dk

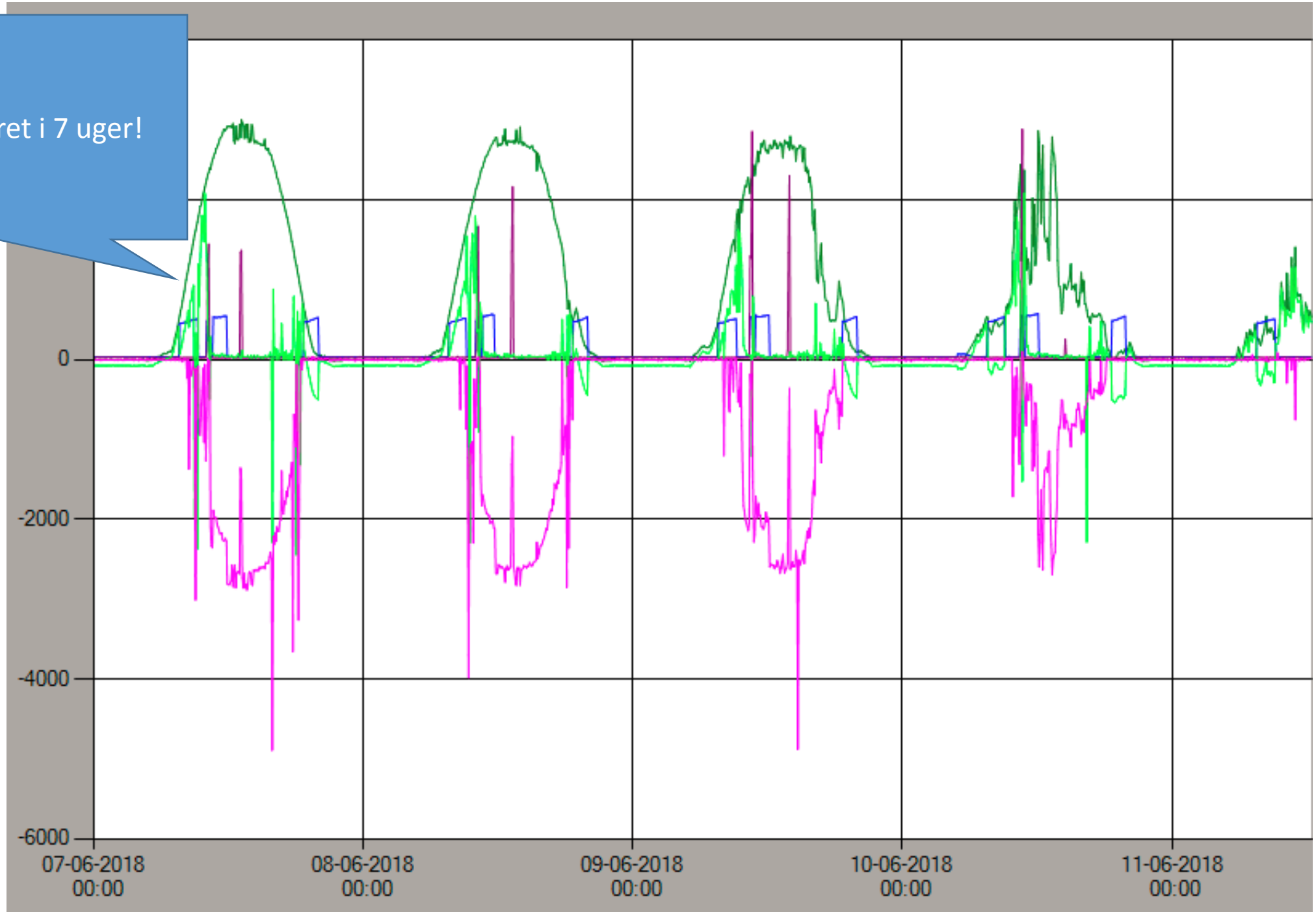
www.byggeriogenergi.dk

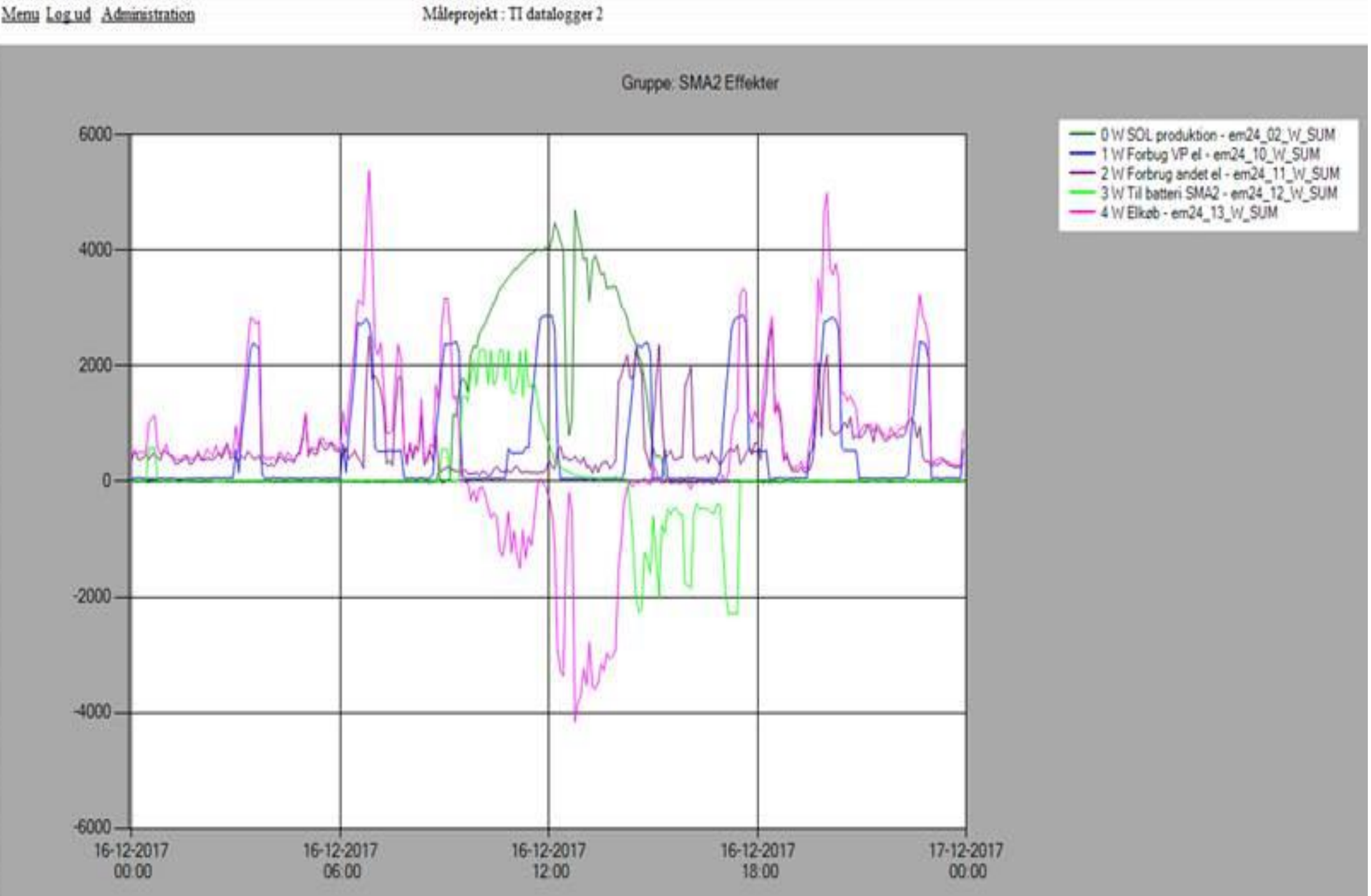
www.teknologisk.dk/37401

Videncenter for
energibesparelser i bygninger

Sådan har det været i 7 uger!

Ingen vår, som en maj i vort land!





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 varmepumpe n.