



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Solcelledrevet varmepumpe og smart energilagring på energirenoveret svømmehal

Mørck, Ove; Thomsen, Kirsten Engelund

*Creative Commons License*  
Ikke-specificeret

*Publication date:*  
2020

*Document Version*  
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Mørck, O., & Thomsen, K. E. (2020). *Solcelledrevet varmepumpe og smart energilagring på energirenoveret svømmehal*.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

---

Kuben Management A/S  
www.kubenman.dk  
Tlf. 7011 4501

18. februar 2020

# SOLCELLEDRETVET VARMEPUMPE OG SMART ENERGILAGRING PÅ ENERGIRENOVERET SVØMMEHAL



# INDHOLD

Indledning .....	3
Indledende undersøgelser .....	5
Valg og placering af solceller .....	6
Installation af energimålere og detaljeret analyse af varmekøberne.....	8
Valg af varmepumpe.....	10
Endelig valg af systemer og styring .....	11
Målerresultater.....	15
Beregnete årsydelse.....	18
Økonomi .....	19
Fremtidsperspektiver .....	20
Appendiks Funktionsbeskrivelse for CTS-anlægget .....	21

## FORFATTERE

Ove Christen Mørck, [Kuben Management A/S](#)  
Kirsten Engelund Thomsen, [BUILD, AAU](#)

Projektet er et samarbejde mellem Ballerup Kommune, Kuben Management, Schneider-Electric DK og BUILD, AAU (tidligere SBi, AAU). Deltagelse i dette projekt er blevet støttet af [Energistyrelsen gennem EUDP](#).

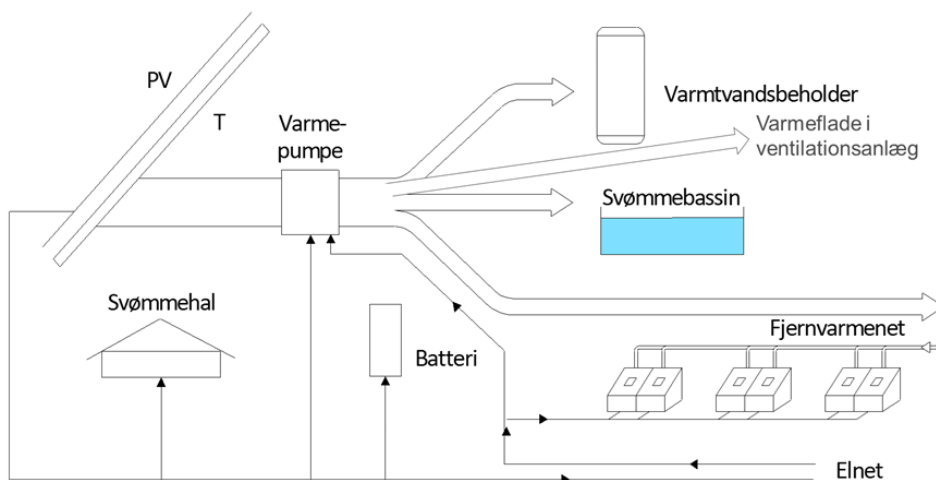
## INDLEDNING

I forbindelse med energirenoveringen af [East Kilbride Badet](#) i Ballerup opstod ideen om samtidig hermed at installere solceller og en varmepumpe. Når solcellerne producerer strøm, kan denne benyttes til at drive varmepumpen, som i princippet kan aflevere varmen til de forskellige varmebehov i svømmehallen: Svømmebassin, varmtvandsbassin, varmt brugsvand eller rumopvarmning (via en varmeflade i ventilationsanlægget). Varmepumpen kan også producere varme på strøm fra nettet, når de aktuelle elpriser og varmepriser sammenholdt med varmepumpens effektivitet viser, at det er økonomisk fordelagtigt. Oprindeligt var det også tanken at forsyne bygningens elsystem med et batteri til lagring af "overskuds"-el produceret af solcellerne, da varmepumpen kun ville bruge ca. 20% af solcellernes maximale effekt.



Figur 1. Svømmehallen set indefra før renoveringen (tv) og efter renoveringen (th).

El kan i princippet også sendes direkte ud på elnettet. Ved at styre varmepumpen intelligent (SMART) i forhold til elproduktion, el- og varmepriser og de øjeblikkelige behov og lagerkapaciteter, som kan øges ved midlertidigt at tillade lidt højere temperaturer i bassinerne, får man det bedst mulige udbytte af systemet. Projektideen var således at opnå konkrete erfaringer med en sådan SMART GRID-/ SMART ENERGY-implementering. Den oprindelige projektidé er illustreret på diagrammet vist på figur 2.



Figur 2. Skitse over oprindelig projektidé.

Som det fremgår af figur 2, var den oprindelige idé at anvende kombinerede solceller og solfangere - såkaldte PVT-elementer. De potentielle muligheder for at levere varme til fjernvarmenettet samt midlertidigt at lagre strøm i et batteri var også medtænkt. Undervejs i projektforsløbet har det vist sig, at den endelige udformning af systemet måtte tilrettes i forhold hertil.

Nærværende rapport beskriver processen fra den oprindelige systemidé via de indledende beregninger og undersøgelser – herunder dispensationsansøgning vedrørende selskabsudskillelse for solcelleanlægget og ansøgning om nettoafregning af solcellestrøm – til den endelige udformning og de første målinger på anlægget. Afslutningsvist er der foretaget nye beregninger af forventede årsydelse.

## INDLEDENDE UNDERSØGELSER

Ved projektets start blev der sat gang i en række forløb til afklaring af de mange problemstillinger, som projektet stod overfor. Forløbene omhandlede følgende fem områder:

- Udførelse af energirammeberegning og ansøgninger til Energinet.
- Valg og placering af solceller (PV).
- Installation af energimålere og detaljeret analyse af varmekonsumet.
- Valg og placering af varmepumpe (VP).
- Indpasning af varmepumpe i den eksisterende installation.

### Udførelse af energirammeberegning og ansøgninger til Energinet

Der blev til at starte med udført en energirammeberegning, der viste at svømmehallen efter energirenoveringen, der primært omfattede installation af nye velisolerede tagkassetter, øget anden isolering samt nyt LED-belysningsanlæg og installation af solceller og varmepumpe, har en samlet energiramme, der modsvarer en energiramme for en ny svømmehal bygget efter Bygningsreglement 2015 (BR15). Denne energiberegning (udført vha. it-systemet "Bygningers energibehov"), blev lagt til grund for en dispensationsansøgning fra Kommunen om at undgå kravet om selskabsdannelse for PV-anlægget. Dispensationsansøgning blev imødekommet i august 2017. Energirammeberegningen er gengivet i tabel 1.

**TABEL 1**

Energirammeberegning efter BR15. Svømmehallen er på ca. 3.200 m<sup>2</sup>

kWh/m <sup>2</sup>	Svømmehal Nybyg	East Kilbride Badet efter energirenovering
Selve bygningen – Be15	41,3	127,5
Ekstra varme (højere lufttemperatur)	131,3	131,3
Ekstra varme til brugsvand	74,3	74,3
Ekstra el til ventilation	137,8	137,8
Ekstra el til belysning	78	78
<b>Samlet energiramme</b>	<b>462</b>	<b>549</b>
PV bidrag – el		-21,7
PV-VP bidrag varme		- 65,4
<b>Resulterende energiramme:</b>		<b>462</b>

## VALG OG PLACERING AF SOLCELLER

Den oprindelige idé var at anvende kombinerede solceller og solfangere - såkaldte PVT-elementer. Der blev indhentet prisoverslag hos to danske leverandører af PVT-elementer, som havde et prisniveau, der var en del højere end PV-anlæg, og det blev derfor besluttet at gå videre med en ren PV-løsning.

Derefter ansøgte kommunen om at få tilladelse til nettoafregning (efter bestemmelserne i Bekendtgørelse nr. 999 af 29/06/2016 fra Energistyrelsen fritages en stor egenproducent (installeret effekt > 50 kW) for at betale beløb til dækning af pristillæg til miljøvenlig elektricitet i forhold til egetforbruget af elektricitet), som blev imødekommet ved udgangen af 2017.

Der er en hygrodioder som dampspærre i tagkassetterne på taget af svømmehallen. Det betyder, at solceller på stativ vil skygge for tagkassetterne og dermed kunne forhindre, at hygrodioden virker korrekt. Kun solceller, der kan limes direkte på tagpappen, kunne derfor komme på tale.

Derefter blev der foretaget en identifikation af letvægtssolceller, der kan lægges direkte på asfalttaget. Der blev herefter lavet et udbud på tyndfilmssolceller på installation af lette tyndfilmssolceller på selve svømmehallen. Udbuddet resulterede i to bud. Imidlertid kunne der ikke placeres mere end 50-60 kWp på taget, og prisen var uforholdsmæssig høj, så denne løsning blev fravalgt pga. pris-/ydelsesforhold.

"Farvede" solceller på sydfacaden af svømmehallen blev også drøftet, men senere frafaldet, da det viste sig, at det mulige udnyttelige areal var for lille til, at det ville give mening med den ekstra installation.

Energirammeberegningerne var foretaget med en installeret solcelleeffekt på min. 80 kW. Man valgte derfor at gå videre med at finde en alternativ løsning med standardsolceller. Derfor gik en undersøgelse af alternative placeringer af solceller i gang.

Det endte med, at der blev lagt solceller på omklædningsrummet til Topdanmark Hallen, som er nabobygning til svømmebadet. Denne bygning er på samme matrikel som East Kilbride Hallen og får leveret strøm via denne. Se dronfoto af de oplagte solceller på figur 3.



*Figur3. Placeringen af solceller på omklædningsrummet til Topdanmark Hallen.*



## INSTALLATION AF ENERGIMÅLERE OG DETALJERET ANALYSE AF VARMEFORBRUGENE

Renovering af vandbehandlingsanlægget stod i starten i vejen for montering af målere, da det var vigtigt at tidsplanen for færdiggørelsen af dette ikke blev rykket; svømmehallen skulle i brug igen så hurtigt som muligt.

Indtil installationen af de nye målere blev det eksisterende energiforbrug over året for svømmehallen analyseret og fremskrevet til den renoverede svømmehal samt beregningsmæssigt fordelt på de forskellige forbrug: Svømmebassin, varmtvandsbassin, varmt brugsvand og varmeplade til ventilationsanlæg. Forbruget blev sammenholdt med de mulige energibidrag fra varmepumpe-varme drevet af PV-el. Der blev derpå foretaget indledende beregninger af varmepumpers ydelser med forskellige prioriteringer af varmebehovene i svømmehallen.

Herefter blev der opsat nye energimålere, hvorfra der kunne trækkes dags- og timedata af Schneider-Electric, som så sendte dem videre til de andre deltagere i projektet. Der blev primært logget dagsdata og i en enkelt måned (juni) timedata. I tabel 2 er effektbehovene for de forskellige varmebehov i svømmehallen sammenfattet.

**TABEL 2**

Målinger af effektbehov i svømmehallen.

Aftaget effekt, kWh	Dagsværdier Sommer	Dagsværdier April-december	Timedata Juni
<b>Svømmebassin</b>			
Gennemsnit	20	17,9	16
Max	49	70	280
Min	9	7,9	0
<b>Varmtvandsbassin</b>			
Gennemsnit	25,2	27,9	28
Max	31,7	40	40
Min	21,7	22,9	20
<b>Varmeflade i ventilation</b>			
Gennemsnit	15	29,7	14,4
Max	30	77,9	50
Min	2	1,7	0
<b>Varmt vand</b>			
Gennemsnit		1,3	
Max		5,8	
Min		0,8	

Analysen af disse måledata viste, at det ikke giver mening at levere varme til det varme vand til bruserne, da forbruget hertil er meget lille. Til gengæld er den effekt, der er behov for til varmefladen på ventilationsanlægget af og til meget stort, så når VP af hensyn til temperaturniveauerne og muligheden for at lagre varme har de to bassiner (svømmebassin og varmtvandsbassin) som primære modtagere af varme, vil der være så lidt tilbage til varmefladen i ventilationsanlægget, at det ikke giver mening at ofre den ekstra installation hertil. Specielt ikke når denne installation på grund af vanskelig tilgængelighed ville blive meget omkostningstung.

Den høje max-effekt til svømmebassinet skyldtes, at denne blev styret således, at der var store varmetilførsler med stor tidsmæssig afstand. Ved en anden styring kan man tilføre varmen mere jævnt og derved ved effekter tættere på gennemsnittet.

## VALG AF VARMEPUMPE

Samtidig med fravalget af PVT-elementerne blev det besluttet at undersøge alternativer til den termiske del af PVT-løsningen. Det første alternativ var Icopals energitag (som kan kobles på en væske-vandvarmepumpe), men det viste sig også at være for dyrt og heller ikke hensigtsmæssigt pga. afkølingen i taget, der kan skabe kondens på loftet i svømmehallen. Det andet alternativ var at lægge jordslanger (ligeledes til en væske-vandvarmepumpe), men det vurderedes også at være for dyrt i forhold til at anvende en luft-vandvarmepumpe, da den forventeligt højere effektivitet af jordvarmepumpen ikke ville være så udtalt, da størstedelen af den solcelleproducerede varmeproduktion vil finde sted, når lufttemperaturen er på niveau med eller højere end jordtemperaturen. En luft-vandvarmepumpe blev derfor valgt.

I løbet af 2018 afholdtes møder med flere potentielle varmepumpeleverandører bl.a. for varmepumper af mærkerne Viessmann, Weishaupt og Danfoss. Ingen af disse havde tilfredsstillende løsninger (for dyre eller kunne ikke levere). Derefter blev der etableret kontakt til firmaet Klimadan, som har flere referencer på nytænkte, lidt avancerede varmepumpeløsninger, og firmaet havde også et godt bud på en løsning til East Kilbride Badet. Valget faldt på en luft-vandvarmepumpe af mærket [Carrier](#).

### Dimensionering af varmepumpe

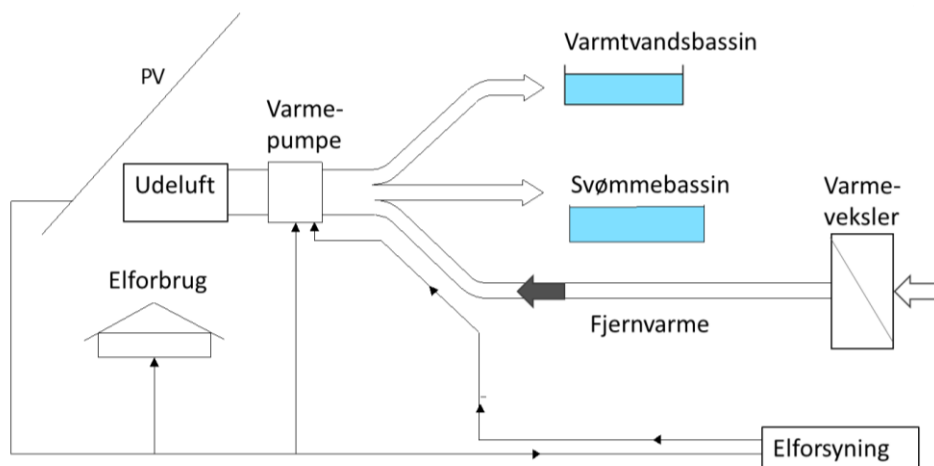
De oprindelige energirammeberegninger blev gentaget med den nu kendte størrelse og placering (retning og hældning) af solcellerne, de målte energiforbrug for svømmebassin og varmtvandsbassin og en 55 kW VP. Beregningerne viste, at energirammeberegningerne stadig holdt – både når der anvendes primærenergifaktorer fra Bygningsreglement 2015 og for Bygningsreglement 2018. Det blev derfor besluttet at installere en 55 kW varmepumpe. Se den installerede varmepumpe på figur 4.



Figur 4. Varmepumpen placeret uden for svømmehallen.

## ENDELIG VALG AF SYSTEMER OG STYRING

Som nævnt ovenfor viste analysen af måledata, at det gav bedst mening at forsyne svømme- og varmtvandsbassin med varme fra varmepumpen. I realiteten vil det være særdeles sjældent, at der er mulighed for at levere varme tilbage til fjernvarmenettet, så det gav ikke mening at indbygge den mulighed. På samme måde vil stort set al den producerede solcellestrøm kunne bruges i svømmehallen, så de få gange den evt. skal sendes direkte på nettet til lav pris, kan ikke retfærdiggøre installation og drift af et batteri, som var den oprindelige tanke. Den endelige udformning af systemet er illustreret på figur 5.



Figur 5. Endelig udformning af systemet med solceller og varmepumpe.

Til styringen blev der installeret et CTS-anlæg fra Schneider-Electric DK. Dette giver mulighed for at styre leveringen af varme fra VP på en af følgende muligheder i forhold til fjernvarmen (FV): Kun VP eller kun FV, eller VP som supplement til FV. Tilslutningen giver mulighed for at levere varme fra VP til det ene bassin, til det andet eller til begge.

På figur 6 ses de to varmevekslere før renoveringen og den nye rørinstallation omkring vekslerne, der gør det muligt at tilføre varmt vand fra varmepumpen i stedet for eller sammen med fjernvarmen.

Figur 6.

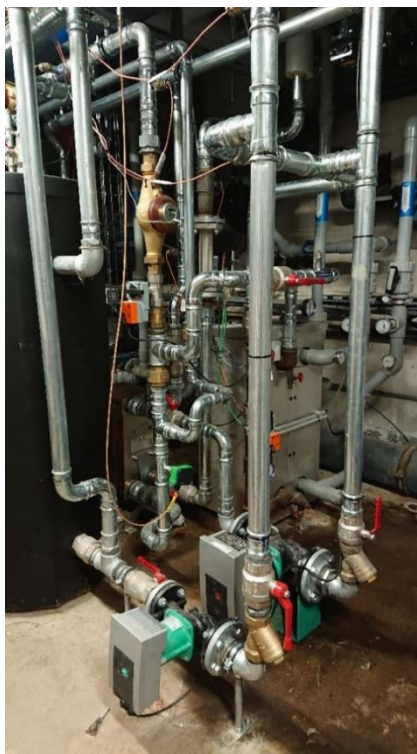


Foto tv: Varmvekslere til svømmebassin (forrest) og varmtvandsbassin (bagerst) i gammel installation.  
Foto th: Ny veksler på fjernvarmen og rørinstallation for indføring af varme fra varmepumpen.

### Tilretning af den eksisterende installation

Som installationen var oprindeligt leveredes fjernvarme direkte ind i East Kilbride Badet med et tryk på op til 10 bar. Det er et tryk, VP godt kan arbejde med. Imidlertid havde der i et stykke tid været tale om, at [Vestforbrænding](#) måske ville begynde at levere varmen med væsentligt højere tryk. Så et spørgsmål havde været, om der skulle sættes en veksler ind på FV for at være forberedt på dette. Dette blev besluttet, da mange af de andre komponenter i varmesystemet heller ikke er udlagt til de høje tryk.

Da de første målinger af temperaturniveauer i installationen ved opvarmning af de to bassiner løb ind på CTS-anlægget, blev det klart, at varmeveksleren til varmtvandsbassinet var lagt ud til de relativt høje temperaturer, der blev leveret af fjernvarmen. Det var nødvendigt med temperaturer på over 68 °C for at få varme i bassinet. Da dette ville være u hensigtsmæssigt for driften af varmepumpen, var det nødvendigt at undersøge, om varmeoverførslen i varmeveksleren kunne øges. Dette var heldigvis muligt, da veksleren kan udvides med ekstra plader. Disse blev bestilt og derefter installeret.

### Styringsstrategi/funktionsbeskrivelse af CTS

CTS-anlægget skal primært styre opvarmningen af de to bassiner med hhv. fjernvarme og varmepumpe eller en kombination af disse. Styringen af varmeforsyningen af bassinerne er udformet således, at når solcelleproduktionen er over et vist niveau, og der samtidigt er et varmebehov i et af bassinerne, startes varmepumpen, og varmebehovet i bassinerne forsynes med varme fra varmepumpen. Hvis der ikke er et aktuelt varmebehov, anmodes vandbehandlingssystemet om at sætte den ønskede temperatur i svømmebassinet op med 0,5 °C, hvorefter varmepumpen kan benytte dette bassin som varmelager og dermed øge udbyttet fra den

soldrevne varmeproduktion. Undervejs skal styringen sørge for, at varmepumpen har en minimum driftsperiode på en halv time for at undgå, at den pendler unødigt.

Endvidere indeholder styringen en mulighed for at styre efter varmepumpens COP i forhold til energipriserne. Ballerup kommune betaler følgende varme- og elpriser i 2019: 482,62 kr./MWh for fjernvarme og 1,86 kr./kWh for el. Begge priser er ekskl. moms. Dvs., når varmepumpens COP overstiger 3,854 (3,9), kan det betale sig at køre med varmepumpen på strøm købt fra nettet. Med en fremløbstemperatur på 45 °C kan der på det grundlag køres med VP for udetemperaturer over ca. 8 °C.

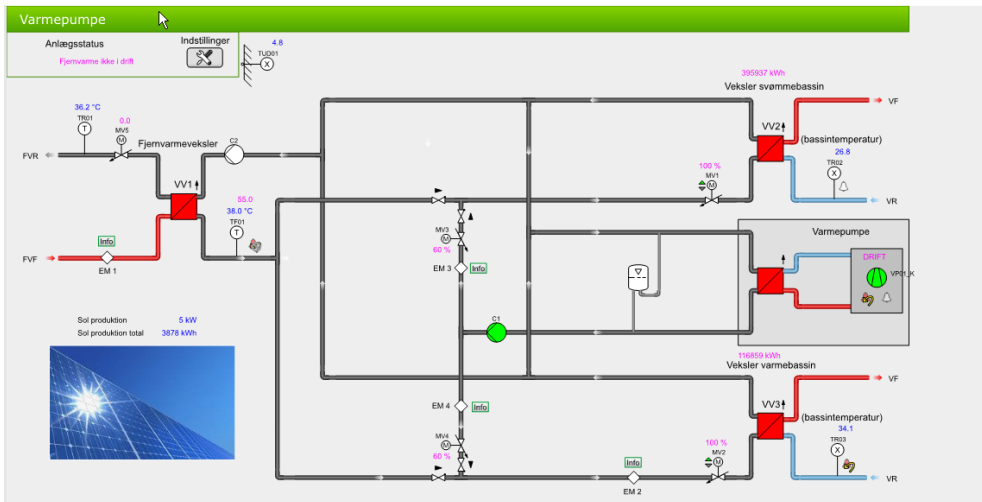
CTS-anlægget kan desuden monitorere systemets energimålere, motorventiler, pumper og temperaturer og vise status på et skærbillede samt foretage en logning af disse data fra energimålerne. Det vil altid være muligt at trække energiproduktionen af varmepumpen og forsyningen af de to bassiner ud af målingerne samt information om de temperaturniveauer, der leveres varme ved fra VP.

På figur 7 ses systemdiagrammet som vist på CTS-anlægget, og figur 8 viser skærbilledet til ændring af styringsparametre.

#### **Udfordringer i styringen af anlægget**

Hovedformålet var at demonstrere en version af et system baseret på vedvarende energi, som er integreret SMART i en eksisterende energiforsyning af en svømmehal. De forskellige systemer, der indgår i løsningen: Solceller, varmepumpe, CTS-system og vandbehandlingssystem har alle en grænseflade for it-kommunikation, så det kunne på papiret synes enkelt at få dem til at kommunikere sammen.

Solcellerne og CTS-systemet kommunikerer via en såkaldt programmeret "API-forbindelse". Varmepumpen og energimålerne kommunikerer med CTS-systemet via en Modbus-protokol, men varmepumpen sender ikke detaljerede informationer om driften, f.eks. årsagen til en evt. fejltilstand. CTS-systemet skal sende et specielt signal til vandbehandlingsanlægget for at overstyre temperaturen i svømmebassinet. Informationsstrømmene fører i sidste ende til, at CTS-systemet optimalt kan skifte mellem fjernvarme og varmepumpe til dækning af behovet i de to bassiner. Målet blev nået, men ikke uden sværds slag. Læren er, at når man integrerer sådanne systemer i et samlet SMART-anlæg, er det nødvendigt først at undersøge, hvorvidt de enkelte komponenters grænseflader tillader, at de kan "snakke sammen".



Figur 7. Systemdiagram vist på CTS-anlægget.

Trend Chart x

## Indstillinger Varmepumpe

Indstillinger for drift	Svømmebassin	Udetemperatur start af varmepumpe	
Temperatur Indstillinger	Setpunkt for start af fjernvarme	-0.2 °C	
	Tidsforsinkelse for start af fjernvarme	900.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for stop af fjernvarme	10.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for at øge fjernvarmetemperatur	900.0 Sek	
	Varmtvandsbassin		
	Setpunkt for start af fjernvarme	-0.2 °C	
	Tidsforsinkelse for start af fjernvarme	900.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for stop af fjernvarme	20.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for at øge fjernvarmetemperatur	900.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for start varmepumpe	300.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for stop varmepumpe	1800.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for start pumpe C1	10.0 Sek	
	Tidsforsinkelse for stop pumpe C1	20.0 Sek	
	Forskydning af temperatur i svømmebassin		
	Tids forsinkelse efter start af varmepumpe	600.0 Sek	
	Temperatur forskydning	0.5 °C	
		Setpunkt for start af varmepumpe	8.0 °C
		Difference for stop af varmepumpe	1.0 °C
		Solcelle-anlæg	
		Setpunkt for start af varmepumpe	2.0 kW
		Difference for stop af varmepumpe	0.5 kW

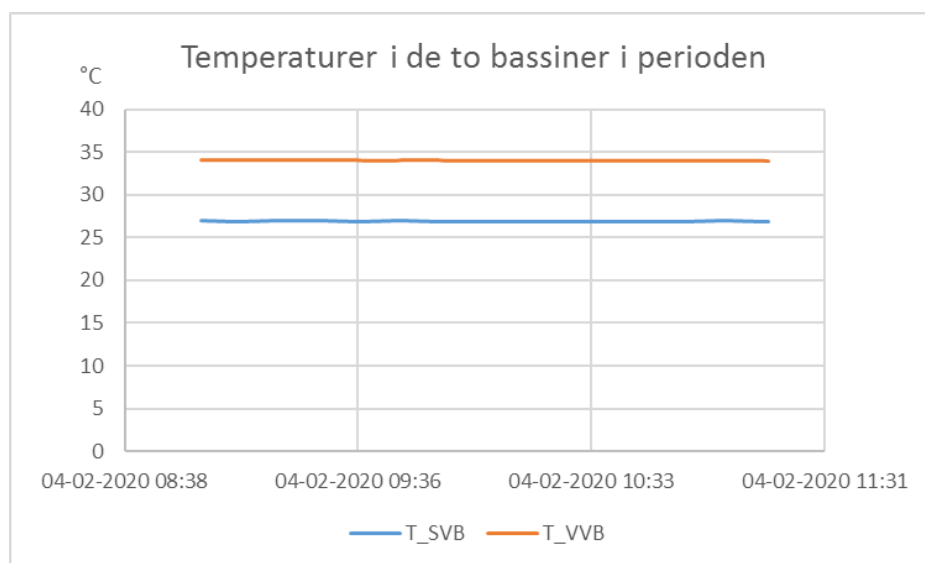
Figur 8. Skærbillede til angivelse af styringsparametre.

## MÅLERESULTATER

De første analyser af måledata fokuserede på at afklare, om varmepumpen kunne levere den ønskede varme og at se på hvilket temperaturniveau, den kunne arbejde på. Anlæg og opstart har været ramt af en del forsinkelser, bl.a. forårsaget af problemer med at få de forskellige systemer til at snakke sammen. For at få nogle driftsresultater at analysere blev man i projektet enige om at starte varmepumpen, blot der var over 2 kW el produceret i solcellerne i stedet for de 14 kW, som normalt skal være grundlag for opstart af varmepumpen.

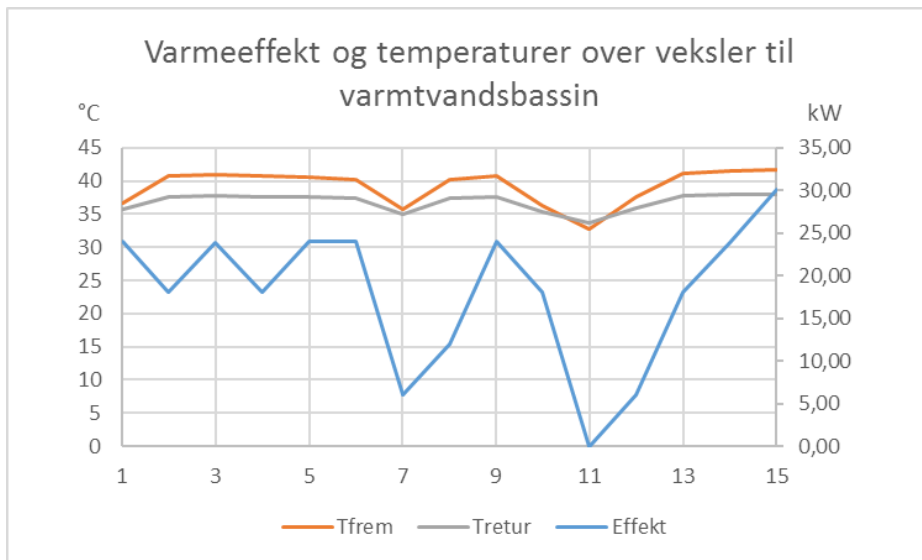
Som nævnt logger CTS-anlægget kontinuert energimålerne, ventilationsstillinger og temperaturer i systemet. I det følgende er valgt data ud for en enkelt periode, hvor varmepumpen alene sørgede for varmforsyningen af de to bassiner. Perioden er d. 4.2.2020 fra kl. 8:50 til 11:20.

Figur 9-11 viser hhv. temperaturer i de bassiner, varmeeffekt og temperaturer over de to varmevekslere til varmtvandsbassin og svømmebassin.

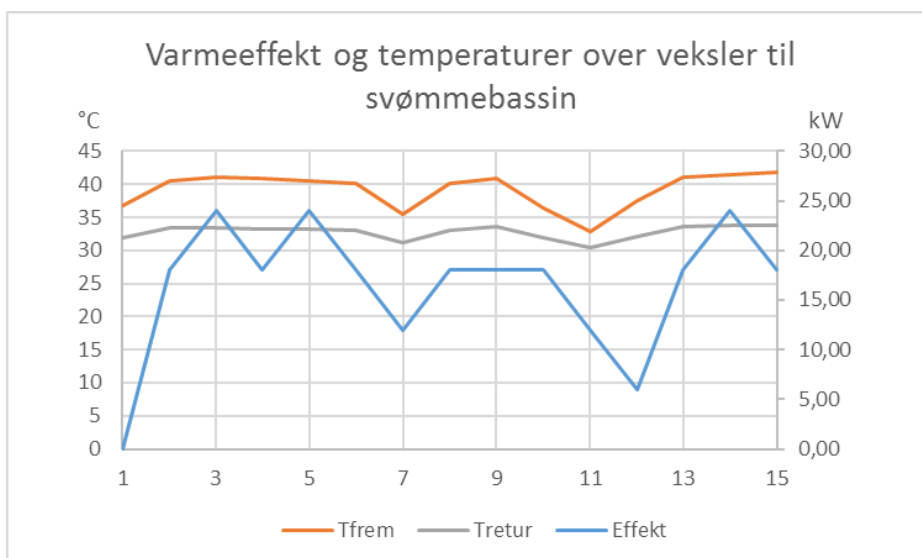


Figur 9. Temperaturer i de to bassiner. Ca. 34 °C i varmtvandsbassinet og ca. 27 °C i svømmebassinet.





Figur 10. Effekt afsat og temperaturer over vekslere til varmtvandsbassin.



Figur 11. Effekt afsat og temperaturer over vekslere til varmtvandsbassin.

I denne periode er gennemsnitsfremløbstemperaturen fra varmepumpen ca. 40,2 °C.

Udetemperaturen var i denne periode var 3,8 °C i gennemsnit. I det ydelsesskema (i henhold til EN14511-3:2011), der gælder for den installerede varmepumpe er varmepumpens COP angivet for hhv. 40 og 45 °C i fremløbstemperatur og 2 og 7 °C i udetemperatur. Ved at ekstrapolere mellem de angivne værdier fås en forventet COP på ca. 3,2. Denne kan sammenholdes med den, der kan beregnes ud fra den producerede varme og det registrerede elforbrug i perioden, som er ca. 3,1. Dette må ud fra det sparsomme datagrundlag siges at være tilfredsstillende.

I de perioder, hvor fjernvarme og varmepumpe supplerer hinanden, er den ventil, der forsyner varmtvandsbassinet med varme fra varmepumpen (MV4) lukket for at undgå, at varmepumpen får for høje returtemperaturer ved opblanding med vand fra fjernvarmen. Det betyder, at fjernvarmen primært forsyner

17 af 23  
varmebassinet, og varmepumpen svømmebassinet. Når fjernvarmen alene forsyner begge bassiner, er begge ventiler, der styrer varmen fra varmepumpen, lukket.

Se funktionsbeskrivelsen for CTS-anlægget i Appendiks.

## **BEREGNEDE ÅRSYDELSER**

De oprindelige energirammeberegninger blev gentaget med den nu kendte størrelse og placering (retning og hældning) af solcellerne, det målte energiforbrug for svømmebassin og varmtvandsbassin og den installerede varmepumpe. På baggrund af de første måleresultater – eksemplificeret i figur 9 og 10 – blev et gennemsnit af temperaturer for levering af varme fra varmepumpen beregnet. Varmepumpens ydelser ved forskellige udetemperaturer og leveringstemperaturer er skemalagt i henhold til EN14511-3:2011 og sammenholdt med en fordeling af udetemperaturer i det danske referenceår, kunne en gennemsnitslig COP fastlægges. COP'en blev anvendt i beregningerne af års-driftsresultater. I beregningerne inkluderedes både varmepumpebidraget i de timer, den kan drives af strøm fra solcellerne og de timer, hvor varmepumpens COP er større end forholdet mellem de aktuelle el- og varmepriser.

Beregningerne viste, at energirammeberegningerne stadig holder, både når man ser på de oprindelige beregninger lavet efter BR15 og nye beregninger efter BR18.

Beregninger viser, at svømmehallen årligt vil få et direkte eltilskud på ca. 49,5 MWh fra solcellerne og et varmetilskud fra varmepumpen på ca. 170 MWh.

## ØKONOMI

Kan det betale sig?

Ballerup Kommune har investeret i solceller, varmepumpe, CTS-anlæg og forskellige nødvendige ekstra elinstallationer for ca. 1,85 mio. kr. Den beregnede besparelser ved solcelle-el og –varmeproduktion er ca. 183.000 kr. Tilbagebetalingstiden er dermed ca. 10 år. Anlægget medfører samtidig en reduceret CO<sub>2</sub>-udledning på ca. 80 tons per år.

## **FREMTIDSPERSPEKTIVER**

Brug af varmepumper i varmeforsyningen bliver mere og mere relevant i takt med, at afgifterne på elforsyning (formentlig) nedsættes over de kommende år, og CO<sub>2</sub>-udledningen reduceres. Foreløbige tal fra Energinet viser, at den gennemsnitlige udledning af CO<sub>2</sub> fra elproduktion i 2019 var 150 g pr kWh. Til sammenligning oplyser Vestforbrænding på sin hjemmeside, at den fossile andel af fjernvarmeproduktionen udleder ca. 85 g CO<sub>2</sub> pr kWh. Når man med varmepumper får ca. 4 kWh varme ud af hver kWh el, vil CO<sub>2</sub>-udledningen herfra således være under det halve af den fra fjernvarmeværket.

Energinet har brug for fleksibilitet i forbruget og produktionen af strøm, når elsystemet skal balanceres. Dette behov øges efterhånden, som andelen af fluktuerende vedvarende energiproduktion stiger. Allerede i dag er der tidspunkter henover et år, hvor Energinet er udfordret med at få mængden af produktion og forbrug til at stemme. SMART varmelagring af f.eks. strøm fra vindmøller kan være med til at løse dette problem.

Der er ca. 1700 større idrætshaller og svømmehaller i Danmark. Den udviklede og demonstrerede teknik vil imidlertid også kunne anvendes på almenbebyggelser. Det samlede markedspotentiale i Danmark er dermed meget betydeligt.

# APPENDIKS

## FUNKTIONSBESKRIVELSE FOR CTS-ANLÆGGET

### Varmeanlæg VP01 - Bassinvand

#### Styring af Varmepumpe via sol og udetemperatur

#### Betjening

Anlægget betjenes via CTS-anlægsbrugerfladen.

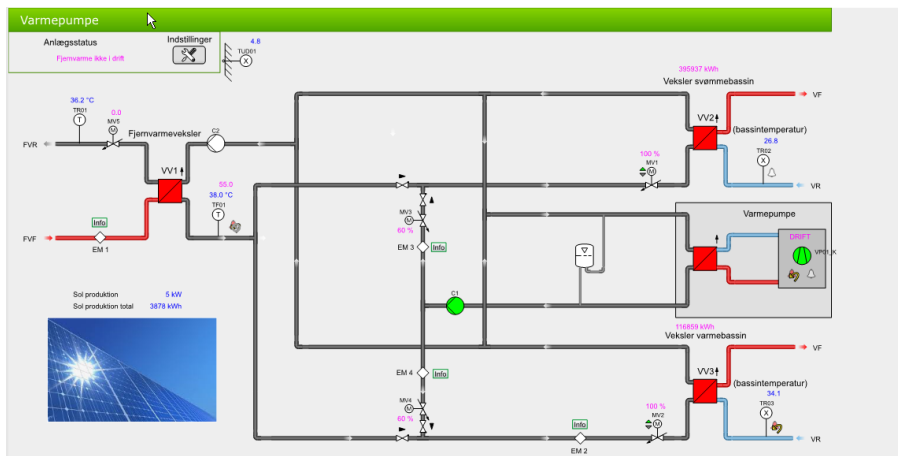
Indstillinger		Varmepumpe	
<b>Indstillinger for drift</b>	Svømmebassin	Udetemperatur start af varmepumpe	
<b>Temperatur Indstillinger</b>	Setpunkt for start af fjernvarme	Setpunkt for start af varmepumpe	8.0 °C
	Tidsforsinkelse for start af fjernvarme	Difference for stop af varmepumpe	1.0 °C
	Tidsforsinkelse for stop af fjernvarme	Solcelle-anlæg	
	Tidsforsinkelse for at øge fjernvarmetemperatur	Setpunkt for start af varmepumpe	2.0 kW
		Difference for stop af varmepumpe	0.5 kW
	Varmtvandsbassin		
	Setpunkt for start af fjernvarme		
	Tidsforsinkelse for start af fjernvarme		
	Tidsforsinkelse for stop af fjernvarme		
	Tidsforsinkelse for at øge fjernvarmetemperatur		
	Tidsforsinkelse for start varmepumpe		
	Tidsforsinkelse for stop varmepumpe		
	Tidsforsinkelse for start pumpe C1		
	Tidsforsinkelse for stop pumpe C1		
	Forskydning af temperatur i svømmebassin		
	Tids forsinkelse efter start af varmepumpe		
	Temperatur forskydning		

#### Solcelleanlæg

Setpunkt for start af varmepumpe: 14 kWh (stilbar)

#### Udetemperatur

Setpunkt for start af varmepumpe: 8 grader (stilbar)



### **FV i drift uden VP (ingen sol og lav udetemperatur)**

Ved varmekrav fra bassin.

MV1 eller MV2 åbner (styres af vandbehandlingen, giver signal via Modbus til CTS), varmeveksleren starter op med konstant fremløbstemperatur (stilbar) via MV5, og pumpe C2 starter.

MV3 og MV4 er lukket. C1 stoppes.

Ikke varmekrav fra bassin.

MV1 og MV2 er lukket.

MV3 og MV4 lukket.

MV5 lukket, og C2 stoppet.

### **VP i drift (sol- og/eller udetemperatur)**

Varmepumpen startes, timer for VP-drift startes (så vi ved, hvornår VP har kørt min. ½ time), når der er varmekrav fra stort bassin eller varmtvandsbassin.

MV1 åbner, hvis der er varmekrav, MV3 åbner samme med MV1, C1 startes, (stort bassin).

MV2 åbner, hvis der er varmekrav, MV4 åbner samme med MV2, C1 startes, (varmtvandsbassin).

Ikke varmekrav fra stort bassin og varmtvandsbassin, setpunkt for stort bassin forskydes med 0,5°C, når setpunkt for stort bassin er forskudt, så kan fjernvarme for stort bassin ikke startes.

Hvis der kommer varmekrav fra varmtvandsbassin, så resettes forskydning.

Fjernvarme er ved start afbrudt – MV5 er lukket og C2 stoppet.

Fjernvarme:

Setpunkt fjernvarme sættes til 55°C (stilbar)

Stort bassin: Hvis temperaturen i bassin er 0,2°C (stilbar) under setpunkt i en given tid (stilbar), så startes regulering med fjernvarme, pumpe C2 startes, er temperaturen i bassin ikke steget efter en tid (stilbar) lukkes motorventil for varmepumpe, setpunkt for fjernvarme forskydes via temperatur i bassin.

Hvis temperaturen i bassin er 0,4°C (stilbar) under setpunkt, startes regulering med fjernvarme, pumpe C2 startes (ingen tidsforsinkelse)

Varmtvandsbassin: Hvis temperaturen i bassin er 0,2°C (stilbar) under setpunkt i eks. Tid, startes regulering med fjernvarme, pumpe C2 startes, er temperaturen i bassin ikke steget efter en tid (stilbar), lukkes motorventil for varmepumpe, setpunkt for fjernvarme forskydes via temperatur i bassin.

Hvis temperaturen i bassin er 0,4°C (stilbar) under setpunkt, startes regulering med fjernvarme, pumpe C2 startes (ingen tidsforsinkelse).

Hvis der er varmebehov fra både stort bassin og varmtvandsbassin, og varmepumpe kører, sættes MV3 og MV4 til 60% åben (stilbar).

**Varmepumpekommunikation:**

- Start fra CTS
- Drift til CTS
- Alarm til CTS

CTS giver start signal til varmepumpe, og der er driftsignal fra varmepumpe.

**Visninger på skærbillede(r):**

Hele anlæggets opbygning

Status VP

Status SOL

Status fjernvarme

Alle målere (aktuel målerstand samt akkumuleret)

Alle tilgængelige temperaturer

Motorventiler inkl. åbningsgrad %

Pumpestatus (som udgangspunkt logges på alle parametre).