



Måling på solcellegavl med forvarmning af ventilationsluft

Økologisk vaskeri - Vinhaven, Valby



SolEnergiCentret Teknologisk Institut



Måling på solcellegavl med forvarmning af ventilationsluft

Økologisk vaskeri - Vinhaven, Valby

Søren Østergaard Jensen SolEnergiCentret Teknologisk Institut

December 2003

Forord

Nærværende rapport afslutter SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Energis del af projektet "Kombineret el- og varmeproduktion fra bygningsintegreret solceller i Valby", journal nr. 51181/00-0032 finansieret af Energistyrelsens Udviklingsprogram for Vedvarende Energi mv.

Projektgruppe:

Byfornyelsesselskabet København Boligselskabet 3B Torben Wormslev rådgivning Cenergia SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Solar Vent Rich. Müller A/S Rockwool A/S Gaia Solar Københavns Energi

Følgende har deltaget i projektets måledel:

Søren Østergaard Jensen, civ.ing., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Trine Dalsgaard Jacobsen, civ.ing., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Ivan Katic, civ.ing., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut William Otto, laboratorieteknikker, SolEnergiCentret, Teknologisk Institut Lars Molnit, stud B.Sc., SolEnergiCentret, Teknologisk Institut

Måling på solcellegavl med forvarmning af ventilationsluft – Økologisk vaskeri – Vinhaven, Valby 1. udgave, 1. oplag, 2003 © Teknologisk Institut Energidivisionen

ISBN: 87-7756-718-8 ISSN: 1600-3780

Indholdsfortegnelse

	Summary	
1.	Introduktion	4
1.1.	Solcellegavl	5
1.2.	Ventilationsanlæg	11
1.2.1.	Eksisterende ventilationsanlæg	
1.3.	Vaskeri	
1.3.1.	Spildevandsrensning	17
2.	Målesystem	
2.1.	Vejrdata	
2.2.	Temperaturer i solcellegavlen	
2.3.	Temperaturer og lufthastigheder i ventilationsanlæg og bygning	
2.4.	Effekt fra solcellefelterne	
2.5.	Opsamling af data	
2.6.	Behandling af date	
3.	Målinger	
3.1.	Måledata fra udvalgte uger	
3.1.1.	Baglæns cirkulation i ventilationskanalerne	
3.1.2.	Volumenstrømme gennem PV-gavlen og sætpunkter for styringen	
3.1.3.	Temperaturforhold i PV-gavlen	
3.1.4.	Elproduktion for PV-felterne	
3.1.6.	PV-gavlen som luftsolfanger	
3.1.7.	Effektivitet af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg	59
3.2.	Generelle betragtninger på basis af samtlige målinger	60
3.2.1.	Temperaturniveauer i PV-gavlen	
3.2.2.	PV-gavlen som luftsolfanger	
3.2.3.	Energitilførslen til rummet i form af forvarmet friskluft	69
3.2.4.	Effektiviteten for varmeveksleren i det eksisterende anlæg	
4.	Årlig vdelse	
4.1.	Denårlige ydelse for PV-panelerne	
4.2.	Den årlige ydelse for PV-gavlen som luftsolfanger	
4.2.1.	Undersøgelse af nøjagtigheden af model-grundlag	
4.2.2.	Parameterundersøgelser med modellen	
4.2.3.	Konklusion	
5.	Konklusion	
6.	Referencer	
Bilag A	PV-paneler	80
Bilag B	Kobling af PV-paneler	

Summary

A multifunctional PV-gable with in all 41 m² PV-panels was installed in the winter 2002/2003 on an ecological laundry situated in the built up area Folehaven in the township Valby in Copenhagen. The purpose of the PV-gable is to generate electricity to the public grid and preheat fresh air to the laundry.

Originally the PV-gable should have been connected to the existing ventilation system, however, this was not possible after all. The PV-gable was instead equipped with a simple ventilation system controlled by three thermostats with sensors in the PV-gable. The fans are only switched on if certain air temperatures in the PV-gable are reached.

Based on the measurements the electrical performance of the PV-panels was judged to be as expected - i.e. about 2,000 kWh per year. The aim of the air flow through the PV-gable was not only preheating of the fresh air to the laundry but also to cool the PV-panels in order to increase the performance of these. However, the measurements showed only an increase of the performance of 2-4 % at a solar radiation of 1,000 W/m² - and less for lower levels of solar radiation. This small increase in performance can't, therefore, justify the rather complex concept applied in the PV-gable.

The measurements further showed that the thermal performance/saving of the PV-gable is poor – in fact below zero. This because the fresh air temperature from the PV-gable most of the time is below the room temperature in the laundry, which is rather high – the PV-gable system thus increases the heat loss of the building. Also if compared to the lower fresh air temperature from the existing ventilation system the savings of the PV-gable system will be below zero.

Based on the measurements the thermal performance of the PV-gable system has be characterized and a simple simulation model has been developed. Simulations with the model show the same poor performance of the system as measured – also if the set points for the controlling thermostats are altered.

The simulation model has further been used to determine the yield from the PV-gable system if it as originally intended had been connected to the existing ventilation system of the building and acted as pre-heater to the existing ventilation system. By doing this much more solar radiation will be utilized as there always will been an air flow through the PV-gable (except during the night). In this way the fresh air will be preheated more or less during all hours with solar radiation (including overcast conditions). The annual amount of energy transferred to the air in the PV-gable will then be around 2,700 kWh or 75 kWh/m², which is not bad for this type of solar air collector without transparent cover to protect the absorber. However, there is a heat recovery unit in the existing ventilation system with an efficiency of around 55 %. The pre-heating of the air in the PV-gable will decrease the savings by the heat exchanger, however the PV-gable is an add on to the existing system, so the savings of the heat recovery unit has here first priority. The real yield of the PV-gable will under these conditions be decreased to about 1,200 kWh or 33 kWh/m².

1. Introduktion

Solcellefeltet er opsat på den sydvendte gavl af en bygning, der huser et vaskeri tilknyttet Folehave-bebyggelsen i Valby administreret af Boligselskabet 3B. Bygningen er beliggende Vinhaven 2-4, Valby. Gavlen vender 10° væk fra syd mod øst. Figur 1.1 viser en plantegning over vaskeriet med placeringen af solcellegavlen. Figur 1.2-3 viser solcellefeltet på den sydvendte gavl.



Figur 1.1. Situationsplan for Vinhaven 2-4.



Figur 1.2. Billede af solcellegavlen på Vinhaven 2-4

1.1. Solcellegavl



Figur 1.3. Tegning af solcellefeltet på Vinhaven 2-4 med angivelse af PV-paneler.

Ideen med gavlen er, at PV-panelerne køles ved hjælp af den friske luft, der trækkes ind til det bagvedliggende økologiske vaskeri. Effektiviteten af PV-panelerne reduceres med 0,4% for hver grad celsius temperaturen af solcellerne stiger. Formålet er således at øge PV-panelernes elproduktion samtidigt med, at overskudsvarmen udnyttes til at forvarme friskluft til bygningen.

Solcellegavlen består af 76 lodret placeret PV-paneler fra Gaia Solar type GS30-36p med en samlet installeret effekt på 2,44 kW_p og et samlet areal på ca. 32,9 m². Langs kanten af solcellefeltet på gavlen er der på taget anbragt en række PV-paneler vendende mod øst og vest. Der er i alt anbragt 8 PV-paneler fra Gaia Solar type GS61-73p med en samlet installeret effekt på 0,547 kW_p og et samlet areal på ca. 8,1 m². Datablade for PV-panelerne er vist i bilag A.

PV-panelerne er koblet sammen som angivet i bilag B. På facaden er 19 solceller koblet i fire serier, som herefter er parallelkoblet og forbundet til en vekselretter. PV-panelerne på taget er koblet i serie to og to og forbundet med i alt fire vekselrettere. Figur 1.4 viser vekselretteren, som det store sydvendt solcellefelt er koblet til, mens figur 1.5 viser de fire små vekselrettere, som PV-panelerne på taget er koblet sammen med. Den producerede solcellestrøm fødes via en elmåler til det offentlige elnet.



Figur 1.4. Vekselretteren tilsluttet det store sydvendte felt.



Figur 1.5. De fire små vekslerettere tilsluttet de otte PV-paneler på taget.

PV-gavlen er opbygget som vist i figur 1.6. Inderst er der anbragt 130 mm hård Rockwool på den eksisterende gavl som vist i figur 1.7. For at hindre at der frigives fibre til luften foran isoleringen, er der anbragt en fiberdug uden på isoleringen. På isoleringen er monteret 100 x 6

mm lodrette firkantprofiler, hvorpå er monteret vandrette 40 x 25 mm firkantprofiler som vist i figur 1.9. Mellem de vandrette firkantprofiler er monteret kassetter af perforerede aluminiumsplader som vist i figur 1.9-10. Perforeringen består af ca. 1,7 mm huller, fordelt så de i alt udgør ca. 0.7 % af pladearealet – en af hulpladerne er vist i figur 1.10. I en afstand på 50 mm fra hulpladerne er PV-panelerne monteret med en indbyrdes afstand på 30 mm for at tillade luften at komme ind i mellemrummet mellem hulpladerne og PV-panelerne. Den friske luft til bygningen suges fra spalten bag de perforerede aluminiumsplader. Formålet med hulpladerne er at skabe et så tilstrækkeligt stort trykfald, at luften strømmer jævn over hele bagsiden af PV-panelerne. Det 100 mm brede hulrum bag hulpladerne fungere som transportkanal for luften efter, den er trængt igennem hulpladerne. Figur 1.2 viser gavlen med påmonterede PVpaneler.



Figur 1.6. Opbygning af PV-feltet på gavlen.





Figur 1.7. Isoleringen på den eksisterende gavl.



Figur 1.8. Lodrette og vandrette profiler til montage af perforerede plader og PV-paneler under montage. Profilerne kan ses i nærbillede i figur 2.5.



Figur 1.9. Gavlen efter montage af de perforerede metalplader.



Figur 1.10. Nærbillede af en af de perforerede plader.

Luften bag hulpladerne ledes op til taget, hvor der er anbragt en isoleret manifoldkasse som vist på figur 1.11. Fra manifoldkassen ledes luften ind på loftet via to kanaler kanaler – se næste afsnit 1.2. Ovenpå manifoldkassen er der monteret PV-paneler som vist i figur 1.11 og 1.12.

Arealet af solcellegavlen som luftsolfanger er er ca. 36 m². Dette areal er lidt større end arealet af PV-panelerne, idet PV-panelerne er opsat med en indbyrdes afstand på 30 mm både vandret og lodret, for at luften kan slippe ind langs perimeteren af PV-panelerne – som vist i figur 1.13.

Figur 1.13 viser den påtænkte luftstrømningen i solcellegavlen med og uden frisklufttilførelse til bygningen. I fyringssæsonen, når solen varmer luften i solcellegavlen op, skabes luftstrømmen gennem de perforerede plader af suget fra ventilatorerne, der fører friskluft til bygningen. Om sommeren (og når solgavlen ikke er istand til at varme den friske luft tilstrækkeligt op) trækkes der ikke frisk luft til bygningen gennem solcellegavlen. Her vil luften strømme op langs bagsiden af PV-paneler som følge af opvarmning af luften. Luften vil strømme ud af gitrene øvers på solcellegavlen som vist i figur 1.11.



Figur 1.11. Manifoldkasse på taget bag den øverste del af PV-gavlen.



Figur 1.12. PV-panelerne på manifoldkassen.



Figur 1.13. Luftstrømningen i solcellegavlen a) med og b) uden frisklufttilførelse fra solcellegavlen til bygning.

1.2. Ventilationsanlæg

Oprindeligt var det tanken at koble solcellegavlen på bygningens ventilationsanlæg, som er et balanceret anlæg med varmegenvinding. Det var meningen, at ventilationsanlægget skulle forberedes på en sådan måde, at solcellegavlen direkte kunne kobles til friskluftsiden af ventilationsanlægget. Dette skete desværre ikke. Da solcellegavlen blev installeret, blev det derfor meget dyrt at koble den til ventilationsanlægget bl.a. på grund af ikke allerede installeret styring. Det blev i stedet valgt, at solcellegavlen skulle være et separat system, hvor forvarmet friskluft kun bliver blæst ind i bygningen, når gavlen er i stand til at hæve frisklufttemperaturen til over et vist sætpunkt – fra starten sat til 16°C. Det betyder desværre, at den termiske ydelse for solcellegavlen bliver mindre end oprindeligt planlagt, idet man går glip at den energimængde, der ellers kunne indvindes ved små solindfald og i kolde perioder, hvor den friske luft kan forvarmes lidt i solcellegavlen, men ikke nok til at kunne blæses direkte ind i rummet.

Figur 1.14 viser en principtegning af ventilationsanlægget koblet til solcellegavlen, mens figur 1.15 viser den ene halvdel af ventilationsanlægget. Ventilationsanlægget er meget simpelt. Det består af en kanal fra hver af de to manifold på taget ned til loftet, hvor spjæld, ventilator, lyddæmper og indblæsningsarramgement er anbragt. Ventilatoren styres på baggrund af luft-temperaturen i toppen af solcellegavlen. Volumenstrømmen af luft er indstillet til at kunne skifte mellem 0, ca. 800 og ca. 1.500 m³/h – dvs. 0, 22,5 og 42 m³/h pr. m² "solfangerareal" afhængig af temperaturniveauet i solfangeren. Figur 1.16 viser indløbet af ventilationsanlægget inde i vaskeriet.



Figur 1.14. Principtegning af ventilationsanlægget koblet til solcellegavlen.



Figur 1.15. Den ene halvdel af ventilationsanlægget på loftet. Spjældet blev først installeret senere.



Figur 1.16. Indløbet for friskluft fra solcellegavlen.

Ventilationsanlægget styres ved hjælp af tre termostater placeret på loftet bag solcellegavlen, med følere ud i mellemrummet mellem væggen og de perforerede plader – se figur 1.17. Termostaterne er forbundet med ventilationsanlægget på følgende måde: En termostat indstillet til 16°C starter ventilatorerne på lav hastighed (ca. 800 m³/h), når temperaturen når over 22°C skifter den anden termostat til høj hastighed (ca. 1.500 m³/h). Hvis temperaturen overstiger 26°C slukker den tredje termostat for anlægget for at undgå overophedning. Sætpunkterne for termostaterne kan ændres. Volumenstrømmen kan varieres ved hjælp af potentiometer i et kontrolpanel.

1.2.1. Eksisterende ventilationsanlæg

Figur 1.18 viser en principskitse af det eksisterende balancerede ventilationsanlæg med varmegenvinding i bygningen. Luften suges ud fire steder under loftet ved ovenlysene - se figur 1.19 - og friskluft blæses ind i opholdszonen to steder gennem perforerede kanaler som vist i figur 1.20. Varmeveksleren i systemet er en krydsvarmeveksler fra Exhausto type VEX150HL EC

Anlægget er dimensioneret til i alt at udsuge og indblæse 2.600 m³/h. Der er ikke i projektet foretaget målinger af de aktuelle volumenstrømme. Anlægget kører i dagtimerne mellem kl. 6 og 23.

1.3. Vaskeri

Nedenstående er hentet fra hjemmesiden <u>www.fbfolehaven.dk</u>, hvor yderligere oplysninger om vaskeriet kan hentes. Figur 1.21 viser billeder fra vaskeriet taget fra hjemmesiden.



Figur 1.17. De tre termostater til styring af ventilatorerne kobloet til PV-gavlen



Figur 1.18. Principskitse af det eksisterende balancerede ventilationsanlæg.



Figur 1.19. Den ene af fire udsugningsarmaturer.



Figur 1.20. En af to diffusorer for indblæsning af frisk luft.



Figur 1.21. Billeder fra vaskeriet (www.fbfolehaven.dk).

Dernæst følger et beplantet marskområde på 17 m³ fyldt op med zeolit, hvori der lever et væld af mikroorganismer, der er med til at rense vandet. Der er ca. 10 cm frit vand oven på zeolitten. Heri er opstillet en serie store stueplanter, der optager den frigivne næring fra vaskevandet.

Efter marskområdet løber det rensede vand til det oprindelige svømmebassin, der bruges som opsamlingstank for det rensede vand. Fra opsamlingstanken sendes vandet gennem et sandfilter og en UV-belysning, hvorved vandet renses til drikkevandskvalitet, før det genbruges.

Der er i Folehavens vaskeri udført en gennemgribende renovering i perioden 4. april til 5. agust 2000. Det renoverede vaskeri har 24 vaskemaskiner, 1 centrifuge, 12 tørretumblere og 2 store strygeruller.

I forbindelse med renoveringen er der etableret et stort biologisk behandlingsanlæg samt et regnvandsanlæg, som indebærer, at der ikke længere bruges vandværksvand. Vandforbruget var tidligere 30 m³/dag. Det biologiske behandlingsanlæg renser vaske- og skyllevandet til drikkevandskvalitet, før det genbruges.

1.3.1. Spildevandsrensning

Det biologiske anlæg renser vandet til drikkevandskvalitet, således at kvaliteten af vasken ikke reduceres, ligesom der ikke forekommer sygdomsfremkaldende kim i genbrugsvandet.

En del af renseprocessen er synlig for beboerne, idet der er opstillet et 8,5 m³ akvarium i vaskeriet med mineralske/biologiske filtre, fisk og snegle. Der dyrkes stueplanter på tømmerflåder, som driver rundt på vandoverfladerne. For enden af vaskeriet er placeret en 25 m³ behandlingstank. Den første del af behandlingstanken udgøres af et område med 8 m³ frit vand, hvor der er et mineralsk/biologisk filter i bunden, og hvor der desuden er fisk, mose- og skivesnegle samt sumpskildpadder og grønne planter.

2. Målesystem

Formålet med målesystemet var at dokumenteret solcellegavlens elektriske og termiske ydelse, herunder den kølende effekt af luftstrømmen bag PV-panelerne.

2.1. Vejrdata

Det globale solindfald på solcellegavlen blev målt med et kalibreret pyranometer fra SolData type 80SP. Udelufttemperaturen blev målt med en skærmet PT100 klasse A temperaturføler. Temperaturføleren var placeret i en skærm bestående af to koncentriske rør for at skærme føleren fra solen. De to sensorer er vist i figur 2.1.



Figur 2.1. Pyranometer og udeluft-temperaturføler.

2.2. Temperaturer i solcellegavlen

12 PT100 klasse A temperaturfølere var anbragt i solcellegavlen for at kunne registrerer temperaturforholdene her: 6 følere på PV-paneler, 3 følere i luftspalten bag PV-panelerne og 3 følere i luftspalten bag hulpladerne. Placeringen af temperaturefølerne er vist i figur 2.2-4. Figur 2.2 viser bag hvilke PV-paneler temperaturfølerne var placeret. Figur 2.3 viser placeringen af følerne i de to hulrum og bag PV-panel. Figur 2.4 viser placeringen af temperaturføreren bag PV-panelet.

Figur 2.5 viser en af temperaturfølerne i luftspalten bag hulpladerne, mens figur 2.6 viser en af temperaturfølerne i luftspalten mellem hulplader og PV-paneler. Temperaturfølerne i luftspalterne er monteret på vinkler. Temperaturfølerne på PV-panelerne er monteret med temperaturbestandig aluminiumtape som vist i figur 2.7. God termisk kontakt mellem temperatureføler og PV-panel er sikret med termopaster.



Figur 2.3. Placering af temperaturfølerne i forhold til perforeret plade og PV-panel.



Figur 2.4. Placering af temperaturfølere i forhold til PV-panel (set forfra).



Figur 2.5. En af temperaturfølerne monteret på en vinkel i luftspalten mellem isolering og hulplader.



Figur 2.6. En af temperaturfølerne monteret på en vinkel i luftspalten mellem hulplader og PV-paneler.



Figur 2.7. Temperaturføler monteret på bagsiden af en af PV-panelerne.

2.3. Temperaturer og lufthastigheder i ventilationsanlæg og bygningen

Figur 2.8 viser placeringen af følerne i ventilationsanlægget koblet til solcellegavlen.



Figur 2.8. Placeringen af følerne i ventilationsanlægget koblet til solcellegavlen.

Temperaturfølerne i ventilationsanlægget var alle PT100 klasse A følere, mens lufthastighedsfølerne var Ventcaptorer kalibreret efter montage i systemet.

I det eksisterende balancerede ventilationsanlæg er frisklufttemperaturen til varmeveksleren og frisklufttemperaturen til bygningen målt ved hjælp af PT100 klasse A temperaturføler – figur 2.9 viser placeringen af disse følere.





Figur 2.10 og 2.11 viser placeringen af lufttemperaturfølerne i vaskeriet. Følerne var 1/3 PT100 klasse B følere. Følerne er placeret i en standardafskærmning med luftgennemgang som vist i figur 2.12.



Figur 2.10. Placeringen af lufttemperaturfølerne i vakeriet.



Figur 2.11. Placeringen af lufttemperaturfølerne i vaskeriet.



Figur 2.12. Lufttemperaturfølernes standardafskærmning.

2.4. Effekt fra solcellefelterne

Elproduktionen fra PV-panelerne blev kontinuerligt logget ved at tælle pulser fra to energimålere tilsluttet efter solcelle-systemets vekselrettere. Den samlede elproduktion fra PVpanelerne blev målt ved hjælp af en energimåler fra ABB type DBB 211700-210 (se figur 2.12), mens elproduktionen fra det store sydvendte felt alene blev målet med en energimåler fra Revalco type RCEM230i (se figur 2.13).



Figur 2.13. De to energimålere til registrering af elproduktionen fra PV-panelerne.

2.5. Opsamling af data

Alle målepunkter blev koblet til en datalogger med moduler fra Analog Devices. Målepunkterne blev scannet hvert 5. sekund og midlet i 5 minutværdier på en PC's harddisk.

Dataloggeren blev styret af PC'en via software't Labview Control. På PC'ens skærm blev løbende vist øjebliksværdier for samtlige målepunkter. Figur 2.13 viser det anvendte dataloggerudstyr placeret på loftet over vaskeriets teknik/doceringsrum – rummet øverst til højre i figur 2.11.



Figur 2.13. Det anvendte dataloggerudstyr.

2.6. Behandling af data

Ved hjælp af dataloggersystemet/PC'en blev de fleste af de målte værdier omsat til forståelige fysiske størrelser som temperaturer og solindfald.

Ved hjælp af kalibreringsudtrykkene er de målte værdier fra lufthastighedsfølerne senere blevet omsat til volumenstrømme af luft, ligesom den termiske ydelse for solcellegavlen og ventilationssystemerne er fundet på baggrund af de målte temperaturer og de beregnede volumenstrømme af luft. Pulserne fra energimålerne er omsat til energimængder.

3. Målinger

Måling af solindfald, udeluft og temperaturer i spalterne bag PV-panelerne samt bag på PV-panelerne blev påbegyndt d. 18 december 2002. Styringen af systemets ventilatorer blev først installeret d. 28. marts 2003. Endelig indregulering af volumenstrømmene af luft gennem systemet blev gennemført d. 16. april 2003, hvor egentlig måling af volumenstrømme blev påbegyndt. Justering af temperatur-sætpunkterne for start og stop af ventilatorerne blev foretaget d. 8. oktober 2003. Målingerne blev afsluttet 31. oktober.

På grund af problemer med målesystemet mangler der desværre en del data. Der mangler data for 34 dage fordelt på tre perioder: 30/1-5/2, 12/5-23/5 og 23/9-10/10 (det sidste pågrund af strømnedbruddet på Sjælland, hvor pc'en ikke kunne re-starte af sig selv, som den eller var programmeret til). Desuden er der tabt 19 timer d. 27/3 og 15 timer d. 7/8. Yderligere var halvdelen af målesystemet sat ud af kraft (specielt måling af volumenstrømme, solindfald og el-produktion fra solcellefelterne) i 9 dage i perioden 18/6-27/6.

Det er forholdsvis mange måledata, der mangler, men som det forklares senere, har systemet kørt uhensigtsmæssigt i flere af perioderne med tabt data, hvilket betyder, at den uhensigtsmæssige funktion af systemet mere end tabet af måledata vanskeliggør en vurdering af systemet.

De opsamlede måledata behandles i det følgende. I første afsnit gives eksempler på systemets funktion ved hjælp af måledata fra udvalgte uger. I det efterfølgende afsnit konkluderes mere bredt om funktionen af systemet ved hjælp af samtlige måledata.

3.1. Måledata fra udvalgte uger

3.1.1. Baglæns cirkulation i ventilationskanalerne

Figur 1.14 viser, at der er installeret spjæld mellem ventilatorerne og PV-gavlen. Disse var oprindelig ikke installeret, men målinger viste, at der forekom baglæns cirkulation af varm rumluft ud gennem PV-gavlen som vist i figur 3.1-2, der viser lufttemperaturerne i ventilationskanalerne i henholdsvis indløbet fra PV-gavlen (label: indløb fra PVT-felt) og indløbet til rummet (label: indløb ved loft) for både højre og venstre kanal (venstre set indefra mod væggen med PV-gavlen) samt lufttemperaturen i toppen af hulrummet bag den perforerede plade i PV-gavlen (label: bag den perforerede plade – 3) – figur 3.3 viser nummereringen af temperaturfølerne i PV-gavlen. Figur 3.1-2 viser temperaturerne for uge 9 og 10, 2003 (24. februar-9. marts, 2003).

Figur 3.4-5 viser solindfaldet på de lodrette PV-paneler og udelufttemperaturen i uge 9-10, 2003. Der er ikke målt volumenstrømme af luft i det eksisterende ventilationsanlæg med varmegenvinding. Men udelufttemperaturen til dette anlæg og indblæsningstemperturen af friskluft er som vist i figur 2.9 blevet målt. Disse to temperaturer er sammen med udelufttemperaturen og rumtemperaturen vist i figur 3.6-7. Figur 3.6-7 kan anvendes til at bestemme, hvornår det eksisterende ventilationsanlæg er i drift. Ventilationsanlægget er slukket mellem 23 og 6 om natten.



Figur 3.1. Temperaturer i ventilationssystemet koblet til PV-gavlen – uge 9, 2003.



tid [dagnummer, 2003]

Figur 3.2. Temperaturer i ventilationssystemet koblet til PV-gavlen – uge 10, 2003.



Figur 3.3. Placeringen af temperaturfølerne i solcellegavlen

Sammenholdes figur 3.1-2 med 3.4-7 ses det, at indløbstemperaturerne fra PV-gavlen i lange perioder er væsentlig højere end udelufttemperaturen – hvilket betyder, at der er revers luftcirkulation gennem systemet. Revers volumenstrøm er afhængig af trykforholdene i bygningen. Ved at sammenligne figur 3.1 og 3.5, ses det, at revers luftstrøm ofte opstår om natten, hvor det eksisterende ventilationsanlæg er slukket. Dette er dog ikke altid tilfældet, som især figur 3.2 og 3.6 viser. Revers volumenstrøm antages at være stærkt afhængig af, hvor meget døren til vaskeriet (fra gaden) åbnes.

Figur 3.7-3.8 viser volumenstrømmene i systemet. Her er anvendt kalibreringsudtrykkene fundet for volumenstrømme mellem 400 og 800 m³/h pr. kanal. Dvs. de viste volumenstrømme i figur 3.7-8 er derfor behæftet med stor usikkerhed. Dog viser figur 3.7-8, at de to målte volumenstrømme er meget ens. Figur 3.9-10 viser den tabte varme (effekt) som følge af den reverse luftstrøm. Figur 3.9-10 viser, at der i uge 9-10 tabes op til 1,8 kW, når temperaturdifferencen mellem rummet og udeluften fra figur 3.5-6 anvendes. I figur 3.7-8 tages der ikke hensyn til at volumenstrømmen kan være begge veje – heller ikke i figur 3.9-10. De høje effekter i figur 3.9-10 er dog tabt varme ved revers volumenstrøm. På baggrund af disse beregninger blev det besluttet at installere spjæld i kanalerne, der åbner, når ventilatorerne kører. Spjældene blev installeret samtidigt med, at ventilatorerne blev idriftsat d. 28. marts 2003.

For dag 55 (figur 3.1, 24. februar) med stort solindfald, giver opvarmningen af luften bag PVpaneler så meget termisk opdrift, at forvarmet luft tilføres rummet fra PV-gavlen – dog ved lav volumenstrøm og effekt som vist i figur 3.7 og 3.9. Selv om solindfaldet er højere dag 57 (26. februar), starter ingen termisk induceret strømning fra PV-gavl til rum.



Figur 3.4. Solindfald og udelufttemperatur – uge 9, 2003.



Figur 3.5. Solindfald og udelufttemperatur – uge 10, 2003.



Figur 3.5. Udelufttemperaturen og frisklufttemperturen til det eksisterende ventilationsanlæg samt udelufttemperaturen ved PV-gavlen og rumtemperaturen inde i vaskeriet i en højde på 1,7 m – uge 9, 2003.



tid [dagnummer, 2003]

Figur 3.6. Udelufttemperaturen og frisklufttemperturen til det eksisterende ventilationsanlæg samt udelufttemperaturen ved PV-gavlen og rumtemperaturen inde i vaskeriet i en højde på 1,7 m – uge 10, 2003.

Vinhaven volumenstrøm af luft



Figur 3.7. Volumenstrøm af luft i systemet – uge 9, 2003.



Vinhaven

Figur 3.8. Volumenstrøm af luft i systemet – uge 10, 2003.



Figur 3.9. Tabt varme som følge af revers volumenstrøm – uge 9, 2003.



Figur 3.10. Tabt varme som følge af revers volumenstrøm – uge 10, 2003.

3.1.2. Volumenstrømme gennem PV-gavlen og sætpunkter for styringen

Volumenstrømmen af luft gennem PV-gavlen blev som nævnt styret af tre termostater. Det var intentionen, at ventilatorerne skulle starte på lav hastighed ved 16°C, skifte til høj hastighed ved 22°C og hindre overophedning ved at stop af ventilatorerne ved 26°C. Termostaterne registrere lufttemperaturen bag den perforerede plade ca. ud for punkt 3 i figur 3.3 – altså luft-temperaturen i toppen af PV-gavlen bag den perforerede plade.

Figur 3.11 viser de to volumenstrøm gennem de to kanaler koblet til PV-gavlen i uge 18, 2003 (28. apirl-4. maj). Figur 3.12-13 viser vejrforhold og temperatureforhold i PV-gavlen i punkt 3 i figur 3.3. Figur 3.11 viser, at den lave volumenstrøm gennem PV-gavlen er i alt ca. 800 m³/h, mens den høje volumenstrøm er ca. 1.500 m²/h – eller ca. 22 og 42 m³/h pr. m² PV-areal. Figur 3.11 indikerer desuden, at styringen af ventilatorerne fungere som tiltænkt. Ventilatorerne starter på lav hastighed, for ved stort solindfald at gå op på høj hastighed, for igen at gå ned på lav hastighed og derefter helt slukke. Dette undersøges nærmere i figur 3.14, hvor figur 3.11 og 3.13 er kombineret. Figur 3.14 viser volumenstrømmen af luft gennem det venstre indløb som funktion af lufttemperaturen bag den perforerede plade i punkt 3 i figur 3.3. På baggrund af figur 3.14 kan tabel 3.1 laves

Dagnummer	lav volumenstrøm af luft		høj volumenstrøm af luft	
	start temp [°C]	stop temp [°C]	start temp [°C]	stop temp [°C]
118	19,3	13,8	-	-
119	17,3	12,6	-	-
120	17,2	12	24,1	19,4
122	17,3	12,3	23,6	20,3

Tabel 3.1.	Målte start- og stoptemperatur	er for ventilatorerne	for dag 118-122, 2003.
------------	--------------------------------	-----------------------	------------------------



Figur 3.11. Volumenstrømme af luft gennem PV-gavlen – uge 18, 2003.



Figur 3.12. Solindfald og udelufttemperatur – uge 18, 2003.



Figur 3.13. Temperaturer på bagsiden af PV-panelet og lufttemperaturer i punkt 3 i figur 3.3. – uge 18, 2003.


Figur 3.14. Volumenstrømmen af luft gennem det venstre indløb som funktion af lufttemperaturen bag den perforerede plade i punkt 3 i figur 3.3 – fire dage i uge 18, 2003.

Af tabel 3.1 fremgår det, at ventilatorerne i den undersøgte uge startede ventilatorerne ved lav hastighed ved en temperatur mellem 17,2 og 19,3°C (termostaten var sat til 16°C) og gik op på høj hastighed ved en temperatur ved 23,6-24,1°C (termostten var sat til 22°C). Ventilatorerne går ned på lav hastighed igen ved en temperatur på 19,4-20,3°C og stopper ved en temperatur mellem 12 og 13,8°C Middelværdien for start/stop for lav volumenstrøm (middel af start og stop) er 15,2°C, mens middelværdien for start/stop for høj volumenstrøm (middel af start og stop) er 21,9°C. Hysteresen for de to termostater for den ovennævnte uge mellem 3,3 og 5,5 K.

Middelværdien af de faktiske start/stop sætpunkter stemmer godt overens med sætpunkterne på de undersøgte to termostater (den sidste termostat bliver undersøgt senere), men hystereserne vurderes at være for høje. Specielt er det et problem, at ventilatorerne først stopper helt ved en temperatur på 12-13,8°C, og dermed blæser meget kold luft ind i vaskeriet. Frisklufttemperaturen fra det eksisterende ventilationsanlæg var i uge 18 mellem 13,5 og 23°C. Problemet med kold luft behandles senere i afsnit 3.1.6.

Figur 3.15-17 viser det samme som figur 3.11-13, men for uge 19, 2003 (5.-11. maj). Figur 3.15 viser, at den valgte styringsstrategi/sætpunkter begynder at give problemer. Ventilatorerne slukker ikke om natten mellem dag 125 og 126 (5.-6. maj) og dag 132 og 133 (11.-12. maj), selv om lufttemperaturen bag den perforerede plade i toppen af PV-gavlen falder til 12-13°C (figur 3.17).



Figur 3.15. Volumenstrømme af luft gennem PV-gavlen – uge 19, 2003.



Figur 3.16. Solindfald og udelufttemperatur – uge 19, 2003.



Figur 3.17. Temperaturer på bagsiden af PV-panelet og lufttemperaturer i punkt 3 i figur 3.3. – uge 19, 2003.

Figur 3.18 viser volumenstrømmen gennem det venstre indløb som funktion af lufttemperaturen bag den perforerede plade i punkt 3 i figur 3.3. Tabel 3.2 viser start stop temperaturerne for de fire dage i figur 3.18.

Dagnummer	lav volumenstrøm af luft		høj volumenstrøm af luft	
	start temp [°C]	stop temp [°C]	start temp [°C]	stop temp [°C]
125	16,2	<14	23	19,3
127	16,2	12,3	-	-
128	16,4	11,8	23	18,5
131	15	<11,5	23,2	17,3

Tabel 3.2. Målte start- og stoptemperaturer for ventilatorerne for fire dage i uge 19, 2003.

Tabel 3.2 viser næsten samme tendens som tabel 3.1, bortset fra lidt lavere start/stoptemperaturer i de fleste tilfælde

Helt galt går det i sommerperioden, med høje udelufttemperaturer. Figur 3.19-22 viser det samme som figur 3.11-14, men for uge 23, 2003 (2.-8. juni). Figur 3.19 viser, at den valgte styringsstrategi/sætpunkter giver problemer. Senere på sommeren, er der dage, hvor anlægget er slukket det meste af døgnet og kører på fuld hastighed fra ca. midnat til solen står op.



Figur 3.18. Volumenstrømmen af luft gennem det venstre indløb som funktion af lufttemperaturen bag den perforerede plade i punkt 3 i figur 3.3 – fire dage i uge 19, 2003.

Tabel 3.3 er genereret på baggrund af figur 3.22. Modsat tabel 3.1-2 er der i tabel 3.3 ikke medtaget start/stop for lavvolumenstrøm, men i stedet stop/start af høj volumenstrøm, når lufttemperaturen bliver for høj.

Dagnummer	høj volumenstrøm af luft		høj volumenstrøm af luft ved for	
			høj lufttempertur	
	start temp [°C]	stop temp [°C]	start temp [°C]	stop temp [°C]
153	19,3	15,3	24	28,3
154	19,7	-	24	29
155	19,1	16	23,7	28,5
156	-	-	24,4	29,4

Tabel 3.3. Målte start og stop temperaturer for ventilatorerne for fire dage i uge 23, 2003.



Figur 3.19. Volumenstrømme af luft gennem PV-gavlen – uge 23, 2003.



Figur 3.20. Solindfald og udelufttemperatur – uge 23, 2003.



Figur 3.21. Temperaturer på bagsiden af PV-panelet og lufttemperaturer i punkt 3 i figur 3.3. – uge 23, 2003.

Stop/start ved for høje temperaturer i tabel 3.3 er henholdsvis omkring 29 og 24°C. Middelværdien mellem start og stop er 26,5, hvilket stemmer godt overens med termostatens sætpunkt på 26°C.

Figur 3.19 viser at styringen udfra et rent solenergisynspunkt ikke er hensigtsmæssig. Systemet kører ikke, når solen skinner, men kører hele natten, hvor PV-feltet ikke kan bidrage med el til ventilatorerne. Men figur 3.23 viser, at styringen ikke er helt så tosset udfra et indeklimamæssigt synspunkt. Figur 3.23 viser, at der det meste af tiden var meget varmt i vaskeriet – det meste af tiden over 25°C og op til 27-28°C i opholdszonen i dagtimerne. Der er således ikke brug for forvarmet luft til vaskeriet – tværtimod. Om natten blæser anlægget luft ind med en lavere temperatur end rumluften og hjælper dermed til at køle rummet i nattetimerne, hvor det eksisterende ventilationsanlæg ikke kører. Figur 3.24 viser, at indblæsningstemperaturen til rummet fra PV-gavlen er stort set identisk med udelufttemperaturen om natten, når ventilatorerne kører. Det kan dog diskuteres, om det ville være mere hensigtsmæssigt at lade denne nedkøling af bygningen ske med det eksisterende ventilationsanlæg.

På baggrund af ovenstående målinger blev det besluttet at ændre lidt på sætpunkterne for anlægget. D. 8/10 blev sætpunktet for start/stop af lav volumenstrøm ændret fra 16 til 18,5°C, sætpunktet for skift mellem lav og høj volumenstrøm blev bibeholdt, mens sætpunktet for stop/start ved for høje lufttemperature blev ændret fra 26 til 23,5°C. Desuden blev anlægget forhindret i at køre om natten ved hjælp af en lysføler. Figur 3.25-28 viser det samme som figur 3.11-14, men for uge 42, 2003 (12.-18. oktober). Ugen er rykket en dag tilbage, for at få søndagen i uge 41 med, hvor der var volumenstrøm gennem PV-gavlen.



Figur 3.22. Volumenstrømmen af luft gennem det venstre indløb som funktion af lufttemperaturen bag den perforerede plade i punkt 3 i figur 3.3 – fire dage i uge 23, 2003.



Figur 3.23. Rumtemperaturen i to højder i vaskeriet – uge 23, 2003.



Figur 3.24. Indblæsningstemperaturen til vaskeriet fra PV-gavlen sammenlignet med udelufttemperaturen – uge 23, 2003.



Vinhaven volumenstrømme af luft gennem PV-gavlen

Figur 3.25. Volumenstrømme af luft gennem PV-gavlen – uge 42, 2003.



Figur 3.26. Solindfald og udelufttemperatur – uge 42, 2003.



tid [dagnummer, 2003]

Figur 3.27. Temperaturer på bagsiden af PV-panelet og lufttemperaturer i punkt 3 i figur 3.3. – uge 42, 2003.



Figur 3.28. Volumenstrømmen af luft gennem det venstre indløb som funktion af luftemperaturen bag den perforerede plade i punkt 3 i figur 3.3 – fire dage i uge 42, 2003.

Dagnummer	lav volumenstrøm af luft		høj volumenstrøm af luft	
	start temp [°C]	stop temp [°C]	start temp [°C]	stop temp [°C]
285	27,5	20	28,3	23,3
286	27,6	21	28,3	23,8
287	27,7	21,5	28,4	24
289	27,1	23	-	-

Tabel 3.4. Målte start- og stoptemperaturer for ventilatorerne for fire dage i uge 43, 2003.

Figur 3.28 og tabel 3.4 viser, at startsætpunktet for lav volumenstrøm nu kun lidt lavere end startsætpunktet for skift til høj volumenstrøm. Middelsætpunkter for lav volumenstrøm er nu 24,4°C, mens middelsætpunktet for høj volumenstrøm er 26°C. Middelsætpunkter for lav volumenstrøm er altså ændret væsentlig mere end de ønskede 2,5 K (fra 16 til 18,5°C), mens sætpunktet for høj volumenstrøm ikke er ændret på trods af reduktion i sætpunktet på 2,5 K. Hvorfor vides ikke, men kan skyldes forskellig placering af følere i målesystem og termostater, eller at ændring af termostaterne ikke er udført korrekt. Det aktuelle sætpunkt for høj volumenstrøm er også steget, selv om denne termostat ikke er rørt, hvilket er heldigt, da sæt-

punktet for lavvolumenstrøm ellers ville være højere end for høj volumenstrøm. Anlægget blæser nu ikke mere kold luft ind i vaskeriet, men ydelsen fra PV-gavlen er tilsvarende formindsket. Sætpunkter for stop ved for høje lufttemperaturer blev sat ned til 23,5°C. Med en hysterese på 3-5 K, skulle ventilatorerne da stoppe ved 25-26°C, hvilket figur 3.28 og tabel 3.4 viser, at ventilatorerne ikke gør. Hvis ventilatorerne var stoppet ved 25-26°C, ville ventilatorerne ikke starte før om eftermiddagen ved faldende lufttemperatur, da stoptemperaturen har er lavere end start af ventilatorerne.

På grund af efteråret med lave udelufttemperaturer, startede ventilatorerne ikke længere i måleperioden. De nye sætpunkter har derfor ikke kunnet undersøges yderligere.

Figur 3.25 viser, at ventilatorerne ikke startede dag 288 (15. oktober) selv om lufttemperaturen mellem den perforerede plade og PV-panelerne nåede op på 40°C (figur 3.27). Men på grund af den isolerende effekt af den perforerede plade, nåede temperaturen ved termostaterne kun op på lige under starttemperaturen for ventilatorerne (27-28°C – tabel 3.4). Føleren for termostaten til start af ventilatorerne burde derfor være placeret mellem den perforerede plade og PV-panelet og ikke bag den perforerede plade. De andre termostaters følere er placeret rigtig, da disse kun er aktive, når der er en volumenstrøm af varm luft gennem den perforerede plade.

Effekten af den forkerte placering af føleren er yderligere illustreret i 3.29-30, der viser vejrforhold og temperaturer i PV-gavlen ud for punkt 3 i figur 3.3. Figur 3.30 viser, at lufttemperturen ved termostaterne når lidt op over 20°C, hvorfor ventilatorerne ikke startede i denne uge selv om lufttemperaturen mellem den perforerede plade og PV-panelerne et par dage nåede op over 35°C. Det betyder, at solenergi går tabt, hvor meget det går tabt, vil blive vurderet i kapitel 4. Lufttemperaturen mellem den perforerede plade og PV-panelerne vil dog have været lavere end vist i figur 3.30, hvis der havde været en luftstrøm gennem PV-gavlen.



Figur 3.29. Solindfald og udelufttemperatur – uge 43, 2003.



Figur 3.30. Temperaturer på bagsiden af PV-panelet og lufttemperaturer i punkt 3 i figur 3.3. – uge 43, 2003.

Ovenstående undersøgelse viser, at styringen af volumenstrømmen af PV-gavlen ikke er optimal. PV-gavlen burde som oprindelig planlagt have været koblet til det eksisterende ventilationsanlæg. Den eneste styring, der da havde været brug for, ville have været et bypass, så luften kunne suges ind direkte udefra, når lufttemperaturen i PV-gavlen var for høj.

3.1.3. Temperaturforhold i PV-gavlen

Figur 3.30 viser en stor temperaturdifference mellem lufttemperaturen på hver side af den perforerede plade. Figur 3.13 viser en næsten ens lufttemperatur på de to sider af den perforerede plade, idet der strømmer luft fra forsiden af den perforerede plade, gennem pladen og ind til hulrummet bag den perforerede plade. Dette billede er desværre ikke entydigt. Figur 3.17 viser en stor temperaturforskel over den perforerede plade for dag 127 og 129, hvor der var en lav eller høj volumenstrøm gennem PV-gavlen som vist i figur 3.15. Der er stor temperaturforskel dagnummer 156-157, hvor ventilatorerne var slukket i dagtimerne – se figur 3.21 og 3.19, men næsten ingen temperaturforskel dag 153-154, hvor ventilatorerne heller ikke kørte i dagtimerne. En stor temperaturforskel ses også for dag 285-287 (figur 3.27), hvor der var stor volumenstrøm gennem PV-gavlen (figur 3.25).

I det følgende undersøges nærmere temperaturforholdene i PV-gavlen ved hjælp af data fra alle sensorerne vist i figur 2.2-3 og 3.3. Desværre opstod der problemer med nogle af temperaturfølerne. Der er kun få anvendelige data fra føleren i hulrummet bag den perforerede plade i punkt 1 i figur 3.3 og PV-temperaturen i punkt 5 sandsynligvis på grund af dårlige lodninger mellem sensor og kabler. PV-temperaturen i punkt 2 vurderes at være for lav, sandsynligvis fordi tapen, der skulle fastholde sensoren figur 2.7 har mistet vedhæftningen, sandsynligvis fordi flere af PV-panelerne blev afmonteret og monteret igen efter installationen af følerne. På

trods af diss problemer, er det alligevel muligt at vurderer temperaturforholdene i PV-gavlen. Men det er data fra mange sensorer, der skal behandles i det følgende, hvilket gør en præsentation vanskelig.

Figur 3.31-32 viser temperaturforholdene i punkterne 1-3 i figur 3.3 for uge 19 og 42 – bemærk forskellig y-akse i de to figurer. Til venstre for hvert af det tre punkter 1-3 i figur 3.3 og til højre sammenligning mellem de tre punkter i de tre lag (figur 2.3.).



Figur 3.31. Temperaturer i det tre punkter 1-3 i figur 3.3 – uge 19, 2003.



Figur 3.32. Temperaturer i det tre punkter 1-3 i figur 3.3 – uge 42, 2003.

Vejrforhold og volumenstrøm af luft gennem PV-gavlen er vist i figur 3.15-16 og 3.25-26.

Figur 3.31 viser en relativt beskeden forskel mellem de målte temperature for denne uge, med undtagelse af, at temperaturen af PV-panelet til punkt 1 er ret høj – hvorfor kan ikke vurderes ud fra målingerne.

Figur 3.32 viser ligesom 3.31 en beskeden temperaturstingning for luften bag den perforerede plade, mens temperaturstignigen op gennem luftspalten mellem den perforerede plade og PV-

panelerne er højere – op til 14 K i uge 42. En lidt mindre stigning – 10 K – ses for PV-panelerne i uger 42.

Figur 3.33 viser alle de målte temperaturer på PV-panelerne (minus punkt 5 – som før nævnt gav problemer). Figur 3.33 viser i uge 19 næsten samme høje temperature for PV-panel 4 som PV-panel 1, mens PV-panel 6 (som næsten er på højde med PV-panel 3) er ret lav i uge 19. Dette skifter i uge 42.



Figur 3.33. Temperaturerne af PV-panelerne. Uge 19, 2003 til venstre og uge 42, 2003 til højre.

Figur 3.34-36 viser det sammen som figur 3-31-33, men her for uge 23 og 43, hvor der ikke var volumenstrøm af luft gennem PV-gavlen – for uge 23 dog ikke volumenstrøm af luft i dagtimerne.

Figur 3.33-36 er ikke væsensforskellig fra figur 3.31-34. Det er nogenlunde de samme temperaturdifference, der er tale om. Volumenstrømmen af luft ser derfor ikke ud til at stor indflydelse på temperaturniveauet i PV-gavlen.



Figur 3.34. Temperaturerne af PV-panelerne. Uge 23, 2003 til venstre og uge 43, 2003 til højre.



Figur 3.35. Temperaturer i det tre punkter 1-3 i figur 3.3 – uge 23, 2003.

Temperaturniveauet i PV-gavlen under forskellige forhold og ved brug af samtlige måledata vil blive undersøgt i det efterfølgende afsnit 3.2.1.



Figur 3.36. Temperaturer i det tre punkter 1-3 i figur 3.3 – uge 43, 2003.

3.1.4. Elproduktionen for PV-felterne

PV-panelerne er opdelt i et hovedfelt monteret lodret på gavlen og to mindre felter på taget pegende hver sin vej. Det er blevet målt på hele elproduktionen fra PV-gavlen og fra hoved-feltet alene. Figur 3.37-38 viser elproduktionen i hver sin ende af måleperioden for at undersøge, om elproduktionen har ændret sig. Figur 3.37 er for uge 9, 2003, mens figur 3.38 er for uge 43, 2003. Begge uger har dage med klart vejr og dermed stort solindfald.

Vinhaven effekt fra PV-felter



Figur 3.37. Elproduktionen fra PV-gavlen delt op på elproduktionen fra det lodrette, store felt og elproduktionen for tagpanelerne – uge 9, 2003.



Figur 3.38. Elproduktionen fra PV-gavlen delt op på elproduktionen fra det lodrette, store felt og elproduktionen for tagpanelerne – uge 43, 2003.

Begge figurer viser en effekt på op til ca. 1.600 kW for det store felt, og op til 120 eller 240 kW for tagpanelerne. Kurven for tagpanelerne er meget hakket og skyldes, at effekten findes ved at tælle pulser, hvor hver puls er 120 kW. Den maksimale effekt for tagpanelerne er lavere i december end i oktober på grund af den lavere solhøjde i februar.

El-ffekten fra det store felt er i figur 3.39 vist som funktion af det totale solindfald på feltet. Ved at anvende udtrykket for regressionslinierne i figur 3.39 findes det, at el-effekten ved et solindfald på 1.000 W/m² er 1.930 og 1.850 W for henholdsvis uge 9 og uge 43. Det er en forskel på ca. 4%, hvilket er indenfor måleusikkerheden. Desuden var PV-panelerne lidt varmere i uge 43 end i uge 9, som det ses ved at sammenligne figur 3.34 med figur 3.40. I uge 43 kom middeltemperaturene af PV-temperaturene i figur 3.34 op på ca. 35°C, mens den i uge 9 (figur 3.40) kom op på ca. 32°C. Som det ses i bilag A er temperaturafhængigheden for el-effekten – 0.4%/K. Dette forklarer 1% point af den observerede forskel på 4%.



Figur 3.39. El-effekten for det store PV-felt som funktion af det totale solindfald. Uge 9 til venstre og uge 43 til højre.

Den installerede effekt i hovedfeltet er ifølge fabrikanten 2,44 kW_p, hvilket er mellem 26 og 32 % højere end de fundne værdier på 1,85-1,93 kW. Den højere celletemperatur reducerer ydelsen med ca. 4 %. Tabene i ledningerne til inverteren bør ikke være mere end 3 % og tabet i inverteren er i størelsesordenen 7-9 %. Dvs. elproduktionen før tab og ved en celletemperatur på 25°C ville have været 2.12-2,25 kW, hvilket er 8-13% lavere end den opgivne installerede effekt på 2,44 kW_p.

Figur 3.41 viser el-produktionen for det store felt og de målet PV-temperaturer for uge 32, 2003, med meget solindfald og høje PV-temperaturer. PV-temperaturen kom her op på i middel 55°C. Ydelsen for PV-feltet renset for tab og ved en celletemperatur på 25°C bliver da 2,32 kW, hvilket kun er ca. 5 % mindre en den installerede effekt på 2,44 kW_p. På grund af den store solhøjde i uge 32 (4.-10. august), reflekteres mere af solindfaldet i PV-panelernes tæklag end i uge 9 og 43. Herved nyttiggøres en lidt mindre del af solindfaldet. De ovenstående 5 % bør derfor reduceres lidt.

Gaia Solar, der har produceret PV-panelerne – angiver usikkerheden på den opgivne peakeffekt til at være ± 5 %. På baggrund af ovenstående konkluderes det, at det stor PV-felt fungere mere eller mindre som forventet, men ydelsen er i underkanten af, hvad der kunne forventes på baggrund af den opgivne peak-effekt. Forskellen mellem målt og specificeret peak effekt for det store PV-felt kan også skyldes ekstra tab i ledninger mellem PV-felt og inverter, da disse ledninger er ret lange.



Vinhaven temperaturer af PV-paneler

Figur 3.40. Temperaturerne af PV-panelerne - uge 9, 2003.



Figur 3.41. El-effekten for det store PV-felt som funktion af det totale solindfald og temperaturerne af PV-panelerne - uge 32, 2003.

Der er ikke fortaget solmålinger for de to små PV-felter på taget. Så ydelsen er ikke evalueret her, men det formodes, at disse også yder som de skal.

3.1.6. PV-gavlen som luftsolfanger

På baggrund af volumenstrømme af luft og de målte lufttemperature, er det muligt at beregne den varmemængde, som luften modtager gennem PV-gavlen og den nyttige mængde varme

leveret til vaskeriet. Figur 3.42-45 viser hver fire figurer for ugerne 18, 19, 23 og 42. De fire figurer er indløbstemperaturen fra solfanger/til rum, temperaturer omkring varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg inkl. rumtemperaturen i 1,7 m højde, tre forskellige effekter samt effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger.

De to første grafer i figur 3.42-45 viser temperaturer til beregningen af effekterne i figuren i nederste venstre hjørne. Figuren i nederste venstre hjørne viser tre forskellige effekter:

- "solenergi tilført i solfanger" hvor middelværdierne af temperaturene i "indløb fra PVT-felt" minus "udelufttemperatur" benyttes som ΔT
- "solenergi tilført rummet" hvor middelværdierne af temperaturene i "indløb ved loft" minus "rumtemperatur (1,7 m)" benyttes som ΔT
- "i forhold til vent.anlæg" hvor middelværdierne af temperaturene i "indløb ved loft" minus "friskluft til rum" (frisklufttemperaturen fra det eksisterende ventilationsanlæg) benyttes som ΔT

Grafen med effekttilførsler viser således dels varmen overført til luften i PV-gavlen, dels varmen tilført til rummet set i forhold til rumtemperaturen eller frisklufttemperaturen tilført rummet fra det eksisterende ventilationsanlæg.



Figur 3.42. Varme tilført luften i PV-gavlen og varme tilført rummet under forskellige forudsætninger samt effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger (de to nederste figurer). Desuden nødvendige temperaturer til beregning af ovenstående. Uge 18, 2003. På baggrund af varmen tilført i PV-gavlen, kan effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger bestemmes. Men før dette kan gøres, at det nødvendigt at omforme det totale solindfald til udnytteligt solindfald. Det totale solindfald er omregnet til udnytteligt solindfald ved at tage hensyn til reflektionen af både direkte og diffust solindfald. For at kunne gøre det, at det nødvendigt at splitte det målte totale solindfald op i direkte og diffust solindfald, hvilket er gjort ved at anvende ligningerne i (Duffie and Beckman, 1991). Der er anvendt følgende ligning til beregning af korrektionen for reflektioner:

$$k = 1 - \tan^{a}(\theta/2) \tag{3.1}$$

hvor θ er indfaldsvinklen for solstrålingen – den aktuelle indfaldsvinkel for det direkte solindfald og 60° for det diffuse solindfald,

a er 3,7 for et dæklag med ét lag glas (Nielsen, 1995)

k multipliceres med det beregnede direkte og diffuse solindfald før disse adderes for at opnå det udnyttelige solindfald.



Figur 3.43. Varme tilført luften i PV-gavlen og varme tilført rummet under forskellige forudsætninger samt effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger (de to nederste figurer). Desuden nødvendige temperaturer til beregning af ovenstående. Uge 19, 2003.

Bemærk forskellige y-akser for graferne i de fire figurer!

Herefter er det muligt at finde effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger ved hjælp af følgende udtryk:

$$\eta = Q/(E_{udnyttelig} \cdot A)$$
(3.2)

hvor Q er effektitilførslen til friskluften fra solcellefeltet, $E_{udnyttelig}$ er det udnyttelige solindfald, A er arealet af det store PV-felt – 32,9 m²



Figur 3.44. Varme tilført luften i PV-gavlen og varme tilført rummet under forskellige forudsætninger samt effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger (de to nederste figurer). Desuden nødvendige temperaturer til beregning af ovenstående. Uge 23, 2003.

Effekttilførslen til luften i PV-gavlen er op til lige under 7.000 W (figur 3.45, dag 287), hvor der var et totalt solindfald på lige under 900 W/m² (figur 3.26), hvilket giver en effektivitet af PV-gavlen på omkring 24 % som vist i figur 3.45. Effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger er dog langt fra en fast størrelse, som det ses i de fire figurer. De høje peaks for effektiviteten om morgenen og eftermiddagen skyldes instationaritet ved start og stop, som intet betyder, da effekttilførsel er minimal og derfor kan negligeres. Effektiviteten ligger mellem et par % og 30 %. De store hak i kurverne skyldes typisk drivende skyer og tildels også skift mellem lav og høj volumenstrøm. Men selv under skyfri vejrforhold og stabile volumenstrømme af luft, stiger effektiviteten typisk hen over dagen. Dette skyldes varmekapaciteten i

PV-gavlen: om formiddagen anvendes en del af solindfaldet til at opvarme konstruktionen, hvorved effektiviteten bliver mindre, mens den akkumulerede varme tilføres til luften om eftremiddagen, når solindfaldet reduceres, hvorved effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger stiger.



Figur 3.45. Varme tilført luften i PV-gavlen og varme tilført rummet under forskellige forudsætninger samt effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger (de to nederste figurer). Desuden nødvendige temperaturer til beregning af ovenstående. Uge 42, 2003.

Effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger under stationære forhold vil blive undersøgt nærmere i afsnit 3.2.2.

Men selv om effekttilførslen til luften i PV-gavlen er op til 3.500 W dag 120 (figur 3.42), tilføres bygningen reelt ingen varme – tværtimod resulterer luften fra PV-gavlen i et varmetab, fordi lufttemperaturen i vaskeriet i dagtimerne når op på omkring 24°C, mens luften fra PVgavlen kun lige når op på denne temperatur, men er det meste af tiden under rumtemperaturen. Ligeledes er lufttemperaturen fra PV-gavlen for det meste lavere end frisklufttemperaturen fra det eksisterende ventilationsanlæg. For de viste figurer sker der kun en reel varmetilførsel i uge 42. Her er effekttilførslen i PV-gavlen som nævnt op til lige under 7.000 W, mens den reelle varmetilførsel til rummet er op til 2.000 og 4.400 W afhængig af, om rumtemperaturen eller frisklufttemperaturen fra det eksisterende ventilationsanlæg lægges til grund for beregningen af varmetilførslen til rummet. Figur 3.42-43 viser, at PV-gavlen ofte ikke virker efter hensigten. Selvom der tilføres en del varme til luften i PV-gavlen, er lufttemperaturen ofte for lav til at bidrage med et varmetilskud til vaskeriet. Ofte resulterer det i et varmetab. En bedre udnyttelse af den solforvarmede luft var som oprindelig tiltænkt at tilføre den forvarmede luft til det eksisterende ventilationssystem og dermed medvirke til at hæve frisklufttemperaturen til rummet fra dette system. Den reelle varmetilførsel og varmetab anlægget giver anledning til vil blive behandlet i næste kapitel. Her vil det også blive undersøgt, hvad det vil betyde, hvis PV-gavlen som oprindelig tænkt var blevet koblet til det eksisterende ventilationsanlæg.

Figur 3.44 viser situationen for uge 23, hvor ventilatorerne kørte om natten. Figur 3.44 viser at PV-gavlen var istand til at fjerne op til 5.000 W varme fra rummet i perioder, hvor rumtemperaturen var over 25°C. De høje køleeffekter opstår typisk om natten, hvor det eksisterende ventilationsanlæg er slukket og hjælper dermed til at bringe rumtemperaturen ned med et par grader. Figur 3.42-43 viser, at rumtemperaturen i vaskeriet ofte er ret høj på grund af det store varmebidrag fra vaskemaskiner og tørretumblere. Som det ses, hjælper PV-gavlem med til at køle rummet – der er ofte et lille hak i rumtemperaturen midt på dagen. Men hvis formålet er at køle rummet, er det ikke så smart først at forvarme luften i en PV-gavl.

3.1.7. Effektivitet af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg

Når det i næste kapitel skal vurderes hvor meget, der kan vindes ved at koble PV-gavlen på det eksisterende ventilationsanlæg, er det nødvendigt at kende effektiviteten af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg.

Temperatureffektiviteten (inkl. kanaler mellem rum og varmeveksler) for varmeveksleren kan bestemmes på følgende måde:

$$\eta_{1t} = (T_{fr} - T_u) / (T_{af} - T_u)$$
(3.3)

hvor η er temperatureffektiviteten,

 T_{fr} er frisklufttemperaturen til rummet, T_{af} er afkasttemperaturen fra rummet, T_{u} er udelufttemperaturen.

Disse temperaturer er vist i figur 3.42-45. Disse uger ligger dog i yderkanten af fyringssæsonen eller i sommerperioden og giver derfor ikke et entydigt billede af varmevekslerens effektivitet. Derfor anvendes i stedet værdierne fra uge 9-10 (figur 3.5-6), som kun viser rumtemperaturen i en højde af 1,7 m og ikke i 3,45 m, som er tættere ved udsugningen. Den beregnede effektivitet er vist i figur 3.46 inkl. grafer med de anvendte temperaturer.

I figur 3.46 går effektiviteten i 0 lige før midnat og stiger derefter hurtigt til 0,9-1 for derefter at gå ned på omkring 0,5 om morgenen. Det sker, fordi der i figuren ikke tages hensyn til, at ventilationsanlægget er slukket i perioden 23:00-6:00. Disse dele af kurven skal der derfor ses bort fra.

Figur 3.46 viser, at varmevekslerens effektivitet ligger mellem 0,5 og 0,6. for den her viste periode. Det er samme effektivitet som blev fundet for en tilsvarende varmeveksler i (Jensen, 2003). Varmevekslerens effektivitet vil yderligere blive undersøgt i det efterfølgende afsnit 3.2, hvor alle (relevante) måledata anvendes i analysen.



Figur 3.46. Temperatureffektiviteten (inkl. kanaler til og fra rummet) af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg – uge 9-10, 2003.

3.2. Generelle betragtninger på basis af samtlige målinger

I det foregående blev funktionen af PV-gavlen inkl. ventilationsdel beskrevet og undersøgt ved hjælp af målinger fra specifikke uger. I det følgende vil temperaturniveauet under forskellig forhold, PV-gavlens effektivitet som luftsolfanger, energitilførslen til rummet og effektivitet af varmeveksleren i det eksisterende ventilationssystem blive undersøgt ved anvendelse af måledata for hele måleperioden.

3.2.1. Temperaturniveauer i PV-gavlen

Som det ses af figur 3.3. er der målt temperaturer i 6 punkter i PV-gavlen, hvoraf der er tre temperaturfølere i tre af punkterne. Desuden er der "tre" volumenstrømme igennem PV-gavlen: ingen volumenstrøm, ca. 800 m³/h og ca. 1.500 m³/h. Det er således mange temperaturer, der skal sammenlignes, vurderes og præsenteres. Desuden er de målte temperaturer meget afhængige af vindforholdene – specielt temperaturen på PV-panelerne, idet der ikke er et transparent dæklag med isolerende stillestående luft foran PV-panelerne. Det giver derfor et meget fluktuerende billede af temperaturerne, når de f.eks. plottes som funktion af det udnyttelige solindfald, som figur 3.47 viser. Figur 3.47 viser temperaturel mellem de tre målte temperaturer i punkt 3 i figur 3.3 og udelufttemperaturen – som funktion af det udnyttelige solindfald for en periode uden volumenstrøm af luft gennem PV-gavlen.



Figur 3.47. Temperaturdifferencen mellem udelufttemperaturen og de tre temperaturer

Figur 3.47 viser, at selv om målepunkterne ligger ret spredt, ligger de alligevel pænt omkring en ret linie. Figur 3.47 viser regressionslinier for de tre temperaturer. Da alle de målte temperaturer ligger pænt omkring lineære regressionslinier, vil de målte temperaturer i det følgende blive undersøgt udelukkende ved hjælp af de fundne regressionslinier.

Figur 3.48-50 viser regressionslinier for alle de målte temperaturer – dog kun ved dagslys \Rightarrow udnytteligt solindfald >50 W/m² for tre situationer: ingen volumenstrøm, lav volumenstrøm og høj volumenstrøm gennem PV-gavlen. Antallet af målepunkter for de tre tilfælde varierer: der er ca. 1.000 timer uden volumenstrøm, ca. 330 timer med lav volumenstrøm og 560 timer ved høj volumenstrøm.

Det er kun i figur 3.48 at temperaturen bag den perforerede plade i punkt 1 og på PV-panel 5 er vist. Disse linier er dog fundet ved hjælp af få målepunkter (omkring 100 timer), da temperatursensorerne derefter gik i stykker.

Generelt: temperaturniveaut falder ved volumenstrøm gennem PV-gavlen, dog er faldet størst ved lav volumenstrøm og ikke som ventet ved høj volumenstrøm. Det skyldes sandsynligvis de få måledata ved lav volumenstrøm. Men det indikerer, at indenfor et vist områder er temperaturniveauet relativt uafhængig af den aktuelle volumenstrøm. Temperaturen bag den perforerede plade er dog relativt lidt afhængig af volumenstrøm – grafen i øverste højre hjørne. ΔT i toppen af PV-gavlen bag den perforerede plade er ved et udnyttelig solindfald på 1000 W/m² 15,2, 12,3 og 14,2 K for henholdsvis ingen, lav og høj volumenstrøm af luft gennnem PV-gavlen.







De tre grafer øverst til venstre og graf nr. 2 og 3 til højre, viser som ventet at temperaturstingingen op gennem gavlen og ind gennem gavlen falder, når der er volumenstrøm gennem PVgavlen. Dog er der ingen temperaturstigning mellem punkt 2 og 3 bag den perforerede plade – både med og uden volumenstrøm – graferne i øverste højre hjørne.

Ved ingen volumenstrøm af luft er PV-panelernes temperatur i punkterne 1, 3, 4 og 5 meget tæt på hinanden, mens disse temperaturer i punkterne 2 og 6 er ens og falder udenfor – nederste graf til venstre. Det formodes derfor, at temperaturesensoren i punkt 6 ligesom i punkt 2 har sluppet vedhæftningen til PV-panelet. Ved volumenstrøm falder PV-temperaturerne lidt og punkt 1 og 3, der ved ingen volumenstrøm lå helt tæt, har nu en temperaturdifferens på omkring 5 K ved 1000 W/m². Det kunne tyde på en dårligere luftgennemstrømning i bunden af gavlen, hvilket ikke er usandsynligt, da ventilatorerne suger i toppen af gavlen. Punkt 4, der også er i bunden af gavlen har dog ved volumenstrøm samme temperatur som punkt 3. Graf nr. 2 til højre modsiger også teorien om dårlig luftfordeling, idet temperaturen foran den perforerede plade i punkt 1-3 ligger meget tæt på hinanden ved volumenstrøm, mens der er en temperaturstigning på 10 K (ved 1000 W/m²), når der ingen volumenstrøm er. Det samme viser graferne øverst til højre, hvor der ingen forskel er på temperaturen bag den perforerede plade i punkt 2 og 3. På baggrund af dette vurderes det, at luftfordelingen over PV-gavlen er rimelig jævnt fordelt. Hvorfor PV-panel 1 bliver varmere end PV-panel 3 ved volumenstrøm, kan ikke forklares udfra måledataene – og det drejere sig i virkeligheden kun om ca. 6 K ved 1000 W/m².

Hvis det antages, at PV-temperaturene i punkt 2 og 6 er fejlbehæftet på grund af manglende termisk kontakt til PV-panelerne, er temperaturen af PV-panelerne også rimelig ens over PV-gavlen – inden for 7-8 K. Middelværdien ved ingen volumenstrøm er ca. 42°C ved 1000 W/m², mens den ved lav og høj volumenstrøm er henholdsvis ca. 33 og 37°C. Det betyder, at PV-panelerne bliver op til 5-9 K varmere (ved 1000 W/m²), når der ingen volumenstrøm er, end med volumenstrøm. Det betyder, at afkølingen som følge af volumenstrøm af luft gennem PVB-panelet ved 1000 W/m² leder til en 2-4,5 % (mindre ved lavere solindfald) forøgelse af PV-panelernes ydelse, hvilket ikke er meget.

3.2.2. PV-gavlen som luftsolfanger

Figur 3.42-45 viser i nederste højre hjørne grafer med effektiviteten for PV-gavlen som luftsolfanger. Som allerede nævnt er de viste effektiviteter alt andet end konstant. Effektiviteten afhænger af volumenstrømmen af luft gennem PV-gavlen og af den termiske masse i PVgavlen. Det sidste giver sig udslag i fluktuationer på dage med drivende skyer og som en jævnt stigende effektivitet på en klar solskinsdag, fordi en del af solenergi om formiddagen anvendes til at varme PV-gavlen op, når solindfaldet stiger, mens denne varme afgives om eftermiddagen, når solindfaldet reduceres. PV-panelts effektivitet kan derfor ikke sammenlignes med andre luftsolfangeres effektivitet, før effektiviteten bringes på en standardiseret form. Den normalt anvendte standardiserede form er den stationære effektivitet ved konstant volumenstrøm af luft og konstant solindfald over en så tilpas lang periode, at stationære forhold opnås. Det er selvfølgelig meget svært at opnå under in-situ-målinger.

I (Jensen, 1999) blev der udviklet en simpel metode til bestemmelse af den stationære effektivitet af luftsolfangere på baggrund af in-situ-målinger. Denne metode er senere valideret i (Jensen og Bosanac, 2002). Metoden går i alt sin enkelthed ud på at afbilde værdierne i figur 3.42-45 som funktion af det udnyttelige solindfald for dage med klart solskin i stedet for som en tidsserie. I en luftsolfanger vil øjeblikseffektiviteten som nævnt være for lav om formiddagen ved stigende solindfald på grund af, at en del af varmen fra solen anvendes til at varme solfangeren op – omvendt om eftermiddagen med faldende solindfald, her vil varme lagret i solfangeren afgives til luftstrømmen og derved øges effektiviteten af solfangeren. Midt på dagen vil temperaturen i solfangeren være rimelig stabil og næsten være sammenfaldende med et tilsvarende stabilt maksimum i solindfaldet – se figur 3.51. Figur 3.52 viser et eksempel på fastlæggelse af effektiviteten for én dag, hvor volumenstrømme/massestrømmen også er vist som funktion af det udnyttelige solindfald. Den valgte dag er dag 112 (13. Oktober).



Figur 3.51. Udnyttelig solindfald og lufttemperatur bag den perforerede plade i toppen af PVgavlen.

På baggrund af en gennemgang af de tilgængelige data for PV-gavlen er sammenhængen mellem massestrøm og effektivitet i tabel 3.5 fremkommet. Desværre har der været meget få dage, hvor der har været skyfrit samtidigt med, at der har været volumenstrøm af luft gennem PV-gavlen. Det er derfor meget få punkter til bestemmelse af den stationære effektivitet af PV-gavlen som luftsolfanger, som er fremkommet. Disse er også vist grafisk i figur 3.53.

Figur 3.53 viser, at effektiviteterne ligger meget spredt, hvilket også var forventet, da temperaturniveauet i PV-gavlen som før nævnt er meget afhængig af de aktuelle vindforhold. Samme billede er set i andre projekter f.eks. (Jensen, 2001) og (Jacobsen og Jensen, 2001). Desværre er der for få punkter til at opnå en præcis bestemmelse af effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger.

I figur 3.54 er den fundne regressionsline for effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger sammenligned med andre PV-luftsolfangere samt en traditionel luftsolfanger uden PV-celler. De andre viste luftsolfangere er Lundebjerg (Jensen, 2001), Roskilde Bank (Jacobsen og Jensen, 2001), Lauritz Sørensens Gård (Jensen, 2003) og Aidt Miljø (Jensen og Bosanac, 2002). Disse solfangere er vist i figur 5.55. I luftsolfangeren i Lauritz Sørensens Gård er der kun PV-

paneler på en del af luftsolfangerens areal. Her fordeles luften også af en perforeret plade. Luftsolfangeren på taget af Roskilde Bank er principielt magen til opbygningen af PV-gavlen, mens der ingen perforeret plade er bag PV-panelerne i Lundebjerg, her suges luften ind forneden og løber op langs bagsiden af PV-panelerne i hele luftsolfangerens højde. Luftsolfangeren fra Aidt Miljø har en matrix absorber af filt, hvor luften suges igennem to gange og en transparent ribbeplade som dæklag.



Vinhaven solfangereffektivitet

Figur 3.52. Effektivitet og massestrøm gennem PV-gavlen – dag 112, 2003. De blå pile viser de anvendte værdier for effektivitet og massestrøm.

dag	volumenstrøm	effektivitet
	af luft [m³/m²h]	[%]
107	51	21,5
109	27	7
110	27,5	4,2
111	48,5	10
112	48,5	17
113	48,7	21,5
114	27	11
115	27	5,5
286	50,5	23,5
287	51	24
289	28	12,5

Tabel 3.5. Effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger som funktion af massestrømmen.



Figur 3.53. Effektiviteten af PV-gavlen som funktion af massestrømmen af luft gennem PV-gavlen.



Vinhaven effektivitet som luftsolfanger

Figur 3.54. Effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger sammenlignet med andre PVluftsolfangere og en traditionel luftsolfanger.



Lundebjerg

Roskilde Bank



Lauritz Sørensens gård

Aidt Miljø

Figur 3.55. De tre PV-luftsolfangere og den traditionelle luftsolfanger som PV-gavlen sammenlignes med i figur 3.54.

Figur 3.54 viser, at effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger er i samme størrelsesorden som effektiviteten målt for andre PV-luftsolfangere og væsentlig lavere end en god traditionel luftsolfanger. Det sidste er ikke så underlig, da der ikke er et beskyttende dæklag foran absorberen, som her er PV-paneler, og fordi varmeovergangen mellem PV-paneler og luften ikke er så høj, som der kan opnås i en egentlig luftsolfanger. Luftsolfangeren fra Aidt Miljø har en absorber af filt, hvor luften suges igennem, hvilket leder til en høj varmeoverføringsevne mellem absorber og luft.

3.2.3. Energitilførslen til rummet i form af forvarmet friskluft

Figur 3.42-43 viser, at selv om der i uge 18-19 bliver tilført en del varme til luften i PVgavlen, resulterer dette i et varmetab for bygningen, fordi frisklufttemperaturen fra PV-gavlen er lavere end både rumtemperaturen og frisklufttemperaturen fra det eksisterende ventilationsanlæg. I det følgende bliver det udfra samtlige måledata vurderet, hvor stor gavn bygningen har haft af den forvarmede luft fra PV-gavlen.

Ovenstående tre effekttilførsler: til luften i solfangeren og til rummet beregnet på grund af rumtemperaturen og frisklufttemperaturen, er beregnet og summeret for måleperioden 17.

april – 31. oktober (minus manglende data som beskrevet først i kapitlet), og for perioderne udenfor fyringssæsonen 17.-30. april og 1. september – 31. oktober og vist i tabel 3.5.

Periode	til luft i solfanger	til rum beregnet på	til rum beregnet
		basis af rumtempe-	på basis af frisk-
		raturen	lufttemperaturen
			fra det eksisteren-
			de ventilationsan-
	kWh	kWh	læg
			kWh
17/4 – 31/10, 2003	1.190	-4.980	-2.860
17/4 - 30/4, 2003	145	-90	-30
1/9 - 31/10, 2003	360	-850	-360

Tabel 3.6. Energitilførsel: til luften i solfangeren og til rummet beregnet på grund af rumtemperaturen og frisklufttemperaturen for forskellige perioder.

Tilførslen af 1.190 kWh til luften i PV-gavlen er ikke meget. Det skal dog erindres at der kun er måledata for ca. et halvt år. Men selv en fordobling af denne energitilførsel er ikke meget i forhold til det årlige solindfald på en sydvendt lodret flade på ca. 950 kWh/m² – eller i alt 34.200 kWh på hele fladen. Systemydelsen ligger således omkring 5 % for den valgte styring af ventilatorerne. En stor del af energitilførslen er desuden sket i sommerhalvåret, hvor der ikke er behov for forvarmning af den friske luft til bygningen. De nye sætpunkter for termostaterne forventes at reducere ydelsen yderligere.

Tabel 3.6 viser, at PV-gavlen samlet set ikke har ledt til en energitilførsel til bygningen i måleperioden, men tværtimod til et varmetab fra bygningen med termostatindstillingen fra før d. 8/10. Efter d. 8/10 starter ventilatorerne ved en temperatur over 20°C og vil derfor ikke give anledning til et varmetab fra bygningen.

Ydelsen for PV-gavlen under forskellige forhold vil nærmere blive undersøgt i næste kapitel.

3.2.4. Effektiviteten for varmeveksleren i det eksisterende anlæg

Temperatur-effektiviteten af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg er vist i figur 3.46. Når der ses bort for de store udsving først og sidst på dagen på grund af ingen volumenstrøm gennem varmeveksleren, svinger effektiviteten i de to viste uger typisk mellem 50 og 60 %. Figuren viser et lidt mærkeligt fænomen: variationen i varmevekslerens effektivitet falder typisk sammen med en tilsvarende variation i temperaturen af udeluften til varmeveksleren. Denne type varmeveksler er udstyret med et by-pass, så den friske luft kan ledes uden om varmeveksleren på f.eks. varme dage. By-passet i den anvendte type varmeveksler har tendens til at være ret utæt (Olsen, 2003), dvs. der løber altid en del af den friske luft forbi varmeveksleren. Det kan forklarer den viste korrelation mellem veksler-effektivitet og udelufttemperatur. Denne korrelation er vist tydeligere i figur 3.56, hvor temperatur-effektiviteten for varmeveksleren er vist som funktion af udelufttemperaturen for perioden 21. marts – 13. april. Som det ses, er der en klar sammenhæng mellem temperatur-effektivitet og udelufttemperatur. Punkterne ligger pænt (±10-15 % point) omkring regressionskurven. Den anvendte varmeveksler har dog under typiske forhold en effektivitet på op til 55 % (Olsen, 2003). De viste ofte meget højere effektiviteter kan skyldes ubalance i volumenstrømmene gennem var-
meveksleren – at volumenstrømmen af friskluft er væsentlig mindre end volumenstrømmen af afkastluft.



Figur 3.56. Temperatur-effektiviteten af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg som funktion af udelufttemperaturen.

Da formålet med projektet var at evaluerer PV-gavl systemet, har der ikke været tilstrækkeligt med målepunkter eller tid til en nærmere undersøgelse af effektiviteten af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg. Ovenstående tyder dog på, at der er problemer med varmeveksleren - problemer der bør undersøges nøjere af boligforeningen.

I det efterfølgende vil der blive taget udgangspunkt i den typiske effektivitet for denne vekslertype – 55 %.

4. Årlige ydelser

Det er ikke muligt ud fra målingerne at bestemme den årlige ydelse for anlægget – dels fordi måleperioden ikke dækker et helt år, dels fordi der er huller i måledataene. Desuden er den termiske ydelse for PV-gavlen meget afhængig af de valgte sætpunkter for termostaterne. Det er derfor interessant at bestemme ydelsens afhængighed af disse sætpunkter. Det er ligeledes af interesse at få bestemt, hvordan ydelsen for PV-gavlen ville have været, hvis den som oprindelig tiltænkt var blevet koblet til det eksisterende ventilationsanlæg.

I det følgende vil ydelsen for anlægget derfor i stedet blive (forsøgt) bestemt ved hjælp af beregninger med en simpel simuleringsmodel opbygget på baggrund af den karakterisering af PV-gavlen, som er gennemført i det forrige kapitel.

4.1. Den årlige ydelse fra PV-panelerne

I forrige kapitel blev det vist, at det store PV-felt ydede som forventet. Dvs. den nominelle ydelse ved et solindfald på 1000 W/m² og en celle-temperatur på 25°C er 2,44 kWh. Dette giver en effektivitet på 7,4%, når arealet af PV-panelerne er 32,9 m².

For at finde den årlige ydelse antages det normalt, at der er et årligt gennemsnitligt tab på 30% som følge at reflektion af solindstråling i dæklaget, højere celle-temperatur, tab i ledninger og tab i inverter. Den årlige ydelse findes herefter ved at multiplicerer det totale årlige solindfald på PV-panelerne med effektiviteten for PV-panelerne og fratrække et tab på 30%. Det totale solindfald på det store PV-felt er ved anvendelse af vejrdata for det Danske referenceår TRY (SBI, 1982) beregnet til 931 kWh/m². Den årlige ydelse fra dette PV-felt er derfor ca.:

931 x 0.074 x 0,7 x 32,9 = 1.587 kWh

PV-felterne på taget: østvendt: 180 kWh pr. år vestvendt: 199 kWh pr. år

når det antages, at disse PV-paneler også yder som forventet.

Den samlede årlige ydelse for PV-felterne er således 1.966 kWh.

4.2. Den årlige ydelse fra PV-gavlen som luftsolfanger

Det har ikke været muligt i projektet at opbygge en detaljeret model af bygning, ventilationssystem og PV-gavl, hvor der tages hensyn til alle termiske processer i bygning og systemer herunder varmekapaciteten i PV-gavlen og bygningens opvarmningsbehov. Simuleringsmodellen bygger i stedet på karakteriseringen af PV-gavlen som luftsolfanger og effektiviteten for varmeveksleren fra forrige kapitel. Ydelsen for systemet simuleres time for time lufttemperaturer ud af PV-gavl og varmeveksler, hvor vejrdata for det Dansk referenceår TRY (SBI,1982) anvendes som inddata. Det er desuden muligt at ændre forskellige parametre for systemerne – f.eks. sætpunkter for termostaterne og om PV-gavlen er koblet til det eksisterende ventilationsanlæg eller ej. For at muliggøre beregning af ydelsen for PV-gavlen er det nødvendigt at gøre nogle simple antagelser vedr. PV-gavl og bygning:

- det antages, at effektivitetsudtrykket for PV-gavlen som luftsolfanger fra figur 3.53 korrekt angiver den gennemsnitlige årlige effektivitet for PV-gavlen.
- bygningens opvarmningsbehov beregnes i ikke. I stedet beregnes ydelsen i afsnit 4.2.2. kun for fyringssæsonen, som går fra d. 24. september til d. 8. maj. For yderligere at reducere ydelsen for perioder med potentielle overophedningsproblemer, udelukkes ydelser, når udelufttemperaturen er højere end 17°C, som er den udelufttemperatur, hvor danske bygninger normalt antages ikke at have et opvarmningsbehov. Der er kun små vinduer i gavlen, så energitilførslen fra gavlen er kun i mindre omfang i konflikt med det direkte solindfald gennem bygningens vinduer.

4.2.1. Undersøgelse af nøjagtigheden af model-grundlag

Figur 4.1 viser en sammenligning mellem målt og beregnet energitilførsel til ventilationsluften i PV-gavlen, hvor effektivitetsudtrykket fra figur 3.53 anvendes til beregningen af energitilførslen. I figur 4.1 er medtaget alle måledata – også udenfor fyringssæsonen. I beregningerne er der her ikke indført temperatur-sætpunkter – i stedet er den målte volumenstrøm af luft anvendt ved fastlæggelse af både målt og beregnet ydelse.

Der er rimelig god overensstemmelse mellem måling og beregning for uge 18 og 19, mens der beregnes en for høj ydelse for uge 23 og en for lav ydelse for uge 42. Dette skyldes selvfølgelig, at effektivitetsudtrykket for PV-gavlen som luftsolfanger er dannet ved regression blandt en spredt sky af effektiviteter som vist i figur 3.53. Effektivitetsudtrykket kan derfor ikke tilfredsstille alle målte forhold. Men det er det bedste, der kan gøres under de givne omstændigheder.

Foretages sammenligningen for samtlige måledata med volumenstrøm gennem PV-gavlen fås, at den målte energitilførsel til luften i PV-gavlen er 1.190 kWh fra tabel 3.6 mod en beregnet energitilførsel på 1.230 kWh. Den beregnede ydelse er 3% højere end den målte ydelse fra tabel 3.6, hvilket må siges at være et tilfredsstillende resultat. Effektivitetsudtrykket i figur 3.53. giver således et rimeligt billede af ydelsen for PV-gavlen. Det vælges derfor at arbejde videre med modellen.

4.2.2. Parametervariationer med modellen

Fra tabel 3.1 og tabel 3.3 fås følgende ca. sammenhæng mellem volumenstrømme af luft gennem PV-gavlen og temperatur i PV-gavlen

- start på lav volumenstrøm:	17°C
- fra lav til ingen volumenstrøm:	12°C
- fra lav til høj volumenstrøm:	24°C
- fra høj til lav volumenstrøm:	20°C
- fra høj til ingen volumenstrøm ved høje temperaturer:	29°C
- fra ingen til høi volumenstrøm når temperaturen falder:	24°C

Til beregning af temperaturen i PV-gavlen for start/stop af ventilatorerne benyttes effektivitetsudtrykket fra figur 3.53. Dette udtryk giver altid højere temperaturer end figur 3.48-50.



Figur 4.1. Målt og beregnet energitilførsel til ventilationsluften i PV-gavlen. Uge 18 øverst til venstre, uge 19 øverst til højre, uge 23 nederst til venstre og uge 42 nederst til højre.

Med ovenstående sætpunkter for styring af ventilatorerne opnås følgende beregnede ydelser fra PV-gavlen, når det Danske referenceår anvendes om input data og energi tilført til luften ikke skæres væk, når udelufttemperaturen er over 17°C:

- hele året:	1.582 kWh
- hele året minus maj-august:	478 kWh
- 17/4-31/10 (samme periode som tabel 3.6):	498 kWh
- 17/4-30/4 (samme periode som tabel 3.6):	68 kWh
- 1/9-31/10 (samme periode som tabel 3.6):	142 kWh

De 498 kWh skal sammenlignes med de 1.190 kWh fra tabel 3.6, mens de 68 og 142 kWh skal sammenlignes med 145 og 360. Selvom der tages hensyn til forskelligt solindfald og udelufttemperaturer i henholdsvis måleperioden og det Danske referenceår, er der ikke en rimelig overensstemmelse, mellem målinger og beregninger. Der beregnes under halvdelen af det målte – gennemsnit kun 43%. Dette skyldes temperatursætpunkterne, da dette er det eneste nye i forhold til sammenligningen i forrige afsnit. Men som tabel 3.1-3 viser, er disse sætpunkter ikke konstante gennem måleperioden. Andre sætpunkter kan dog alene ikke forklare den store forskel. Det har ikke været muligt i nærværende projekt, at gøre modellen bedre, men som det ses i det følgende, en fordobling af den beregnede ydelse ikke ændre væsentlig ved konklusionerne

Hvis der regnes med den traditionelle fyringssæson (24/9-8/5), og at energitilskuddet ikke er nyttigt ved udelufttemperaturer over 17°C, bliver den beregnede årlige ydelse: 340 kWh (790 kWh, hvis ydelsen forøges med samme forhold som forholdet mellem målt og beregnet ydelse i paragraffen ovenfor – dvs. divideret med 0.43), hvilket er mindre en 10 (20) kWh/m². Hvis der yderligere sættes den begrænsning på, at ventilatorerne først starter ved en temperatur i PV-gavlen på 21°C eller mere, er ydelsen tæt på 0. I forhold til indblæsningstemperaturen fra det eksisterende ventilationsanlæg, vil ydelsen for PV-gavlen ligge tættere på 0 end på 340 (790) kWh som tabel 3.6 viser.

Sætpunkterne for systemet blev ændret d. 8/10. De nye sætpunkter er vist i tabel 3.4. Anlægget starter nu først, når temperaturen i PV-gavlen er over 21°C. Som nævnt ovenfor betyder det, at der stort set ingen ydelse er for anlægget. Dette er dog ikke tilfældet i det aktuelle anlæg, som det ses af figur 3.45.

At der ingen beregnet ydelse er, når der ønskes en frisklufttemperatur på 21°C skyldes den manglende varmekapacitet for PV-gavlen i modellen. I virkeligheden vil PV-gavlen varme op i perioder med solskin og uden volumenstrøm, så sætpunktet alligevel nås. Modellen er derfor som allerede nævnt for simpel til at give et korrekt billede af ydelsen fra PV-gavlen – specielt på dette punkt. Men både tabel 3.6 og ovenstående simuleringsresultater viser, at opbygningen af ventilationssystemet bag PV-gavlen er uhensigtsmæssig. Der vil reelt ikke være nogen eller kun ringe ydelse for anlægget.

Derfor undersøges det i det følgende, hvilken betydning det vil have for ydelsen, hvis PVgavlen i stedet var koblet til det eksisterende ventilationsanlæg, således at PV-gavlen forvarmer den friske luft til det eksisterende ventilationsanlægs varmegenvindingsenhed.

Det antages derfor i det følgende, at der altid er høj volumenstrøm gennem PV-gavlen undtagen om natten, hvor det eksisterende ventilationsanlæg er slukket. Der suges kun luft gennem PV-gavlen i fyringsæsonen, og når udelufttemperaturen er mindre end 17°C. Det antages desuden som nævnt i forrige kapitel at effektiviteten af varmeveksleren i det eksisterende ventilationsanlæg er 55%.

I det følgende antages det, at PV-gavlen er koblet til det eksisterende ventilationsanlæg, og varmeveksleren heri har en effektivitet på 55%. Der suges i fyringssæsonen altid 1.500 m³/h luft gennem PV-gavlen undtagen om natten, og når udelufttemperaturen er over 17°C.

Energitilførslen til luften i PV-gavlen bliver da 2.680 kWh/år eller 74,5 kWh/m² pr. år, hvilket er udmærket for denne type luftsolfanger uden isolerende dæklag. Men da PV-gavlen hæver temperaturen til varmeveksleren i ventilationsanlægget reducerer PV-gavlen besparelsen for varmeveksleren. Forskellen mellem den samlede besparelsen med det eksisterende ventilationsanlæg med og ude forvarmning af den friske luft i PV-gavlen er beregnet til 1.210 kWh/år eller 33,6 kWh/m³ pr. år. Denne ydelse er den reelle ydelse for PV-gavlen, selv om den friske luft blæses ind med en lavere temperatur end temperaturen i vaskeriet, da det eksisterende ventilationsanlæg alligevel ville have blæst ind med en undertemperatur som vist i f.eks. 3.42-45. Når solen skinner vil PV-gavlen blot forøge indblæsningstemperaturen fra det eksisterende ventilationsanlæg.

4.3. Konklusion

Den forventede årlige ydelse for de tre PV-felter er fundet til lige under 2.000 kWh.

Den årlige termiske ydelse for PV-gavlen som solfanger er for den givne opbygning af PVgavl og ventilationsnalæg fundet til i bedste fald 0 kWh. I virkeligheden kan systemet lede til et forøget varmetab fra bygningen, fordi luft med en lavere temperatur end frisklufttemperaturen fra det oprindelige ventilationsanlæg ledes til bygningen. Luften tilføres mellem 10 og 20 kWh/m² energi fra solen i PV-gavlen, når denne fungere som luftsolfanger – hvilket er meget lavt.

PV-gavlen burde som oprindelig tiltænkt være koblet til det oprindelige ventilationsanlæg, hvor der da med undtagelse af om natten altid ville være volumenstrøm gemmen PV-gavlen. PV-gavlen ville da forvarme friskluft til det oprindelige ventilationsanlægs varmegenvindingsenhed. I dette tilfælde ville selv meget lave lufttemperaturer fra PV-gavlen være nyttige, dvs. at en langt større del af solindfaldet vil blive nyttiggjort – også solindfaldet på gråvejrsdage. Ydelsen fra PV-gavlen bliver da væsentlig højere:

Ydelsen fra PV-gavlen bliver da 2.680 kWh/år eller 74,5 kWh/m² pr. år, hvilket er udmærket for denne type luftsolfanger uden isolerende dæklag.

Men da PV-gavlen og varmeveksleren i det oprindelige ventilationssystem konkurrerer om at dække det samme behov, og da PV-gavlen er et "add on" til et eksisterende system, har varmeveksleren her førsteprioritet. Da effektiviteten af denne varmeveksler antages at være 55%, bliver den reelle besparelse som følge af PV-gavlen kun 1.210 kWh/år eller 33,6 kWh/m³ pr. år.

5. Konklusion

En i alt 41 m² PV-gavl blev i vinteren 2002/2003 opført på det økologisk vaskeri i Folehavebebyggelsen, Valby, København. Formålet med PV-gavlen var dels at producere elektricitet til det offentlige net dels at forvarme friskluft til vaskeriet. De sidste justeringer af det tilhørende ventilationsanlæg blev foretaget i april 2003.

Oprindelig var tanken, at PV-gavlen skulle kobles til det eksisterende ventilationsanlæg i vaskeriet. Dette var dog alligevel ikke blevet forberet for denne integration, hvorfor det blev for dyrt at sammenkoble de to anlæg. I stedet fik PV-gavlen sit eget simple ventilationsanlæg, styret af tre termostater med følere i PV-gavlen. De to ventilatorer i systemet starter først, når den ønskede lufttemperatur i PV-gavlen nås.

For at kunne dokumentere ydelsen fra PV-gavlen blev der installeret et målesystem til måling af el-produktion, solindfald, temperaturer og volumenstrømme i anlægget. Målinger for de første målepunkter blev påbegyndt i december 2002, mens måling på alle målepunkter først blev mulig i april 2003, hvor anlægget blev endelig indreguleret.

På baggrund af målingerne vurderes det, at el-produktionen for PV-panelerne er som forventet, med en samlet årlig ydelse på omkring 2.000 kWh. Ud over at forvarme friskluft, var det intentionen, at volumenstrømmen bag PV-panelerne skulle forøge el-produktionen fra PVpanelerne ved at køle disse, idet ydelsen falder med stigende paneltemperatur. Målingerne viser dog, at ydelsen kun forøges med op til 2-4 % (ved et solindfald på 1000 W/m² og mindre ved lavere solindfald). Den ringe forøgelse af ydelsen kan derfor ikke alene retfærdiggøre det relativt komplicerede koncept anvendt i PV-gavlen.

På grund af problemer med målesystemet og styringen af PV-gavlen (få perioder med volumenstrøm gennem PV-gavlen) har det været vanskelig at karakteriserer den termisk funktion af PV-gavlen. Således har det ikke været muligt særlig præcist at fastlægge effektiviteten af PV-gavlen som luftsolfanger på grund af for få måledata opsamlet under de rigtige forhold.

Selv om effekttilførslen til luften i PV-gavlen kan komme op på 7 kW, er den målte årlige besparelse under 0 kWh. Systemet leder for det meste til et øget varmetab for bygningen, fordi frisklufttemperaturn fra PV-gavlen for det meste er lavere end lufttemperaturen i vaskeriet, som er ret høj. Selv hvis der sammenlignes med den lavere frisklufttemperatur fra det eksisterende ventilationsanlæg, er den samlede målte termisk besparelse for PV-gavlen stadig negativ. Der er udviklet en simpel simuleringsmodellen af PV-gavl med tilhørende ventilationsanlæg. Simuleringer med modellen viser samme dårlige termiske funktion af PV-gavlen som målingerne – også hvis sætpunkterne for termostaterne ændres.

Den dårlige termisk funktion af PV-gavlen skyldes, at PV-gavlen ikke som oprindelig tiltænkt forvarmer friskluften til det eksisterende ventilationsanlæg. Koblet til ventilationsanlægget ville der hele tiden være en volumenstrøm gennem PV-gavlen (undtagen om natten). Herved ville en større del af solindfaldet blive udnyttet – selv på gråvejrsdage, hvor friskluftemperaturen kun kan hæves et par grader celcius, da ventilationsanlægget ellers ville suge udeluft direkte udefra med en lavere temperatur. Simuleringer med modellen viser at den årlige ydelse da ville være omkring 2.700 kWh eller 75 kWh/m², hvilket er udmærket for denne type luftsolfanger uden beskyttende dæklag. Men da PV-gavlen og varmeveksleren i det oprindelige ventilationssystem konkurrerer om at dække det samme behov, og da PV-gavlen er et "add on" til det eksisterende system, har varmeveksleren her førsteprioritet. Da effektiviteten af

denne varmeveksler antages at være 55%, bliver den reelle besparelse som følge af PV-gavlen kun omkring 1.200 kWh/år eller 33 kWh/m³ pr. år.

Den termiske ydelse for PV-gavlen vil således under alle omstændigheder være beskeden, hvilket ikke er så underligt, da der ikke er behov for forvarmning af friskluft i sommerperioden, hvor der er størst solindfald. Desuden er der ikke et beskyttende dæklag foran absorberen (PV-panelerne), så PV-gavlen som luftsolfanger har et stort varmetab til omgivelserne. Yderligere er varmeoverføringsevnen mellem PV-paneler og luftstrøm ikke optimal.

Undersøgelserne i nærværende rapport viser, at det er af stor betydning for den termisk ydelse, hvordan en PV-gavl af den undersøgte type integreres med bygningens ventilationssystem, samt hvordan volumenstrømmen af luft gennem PV-gavlen styres. Afhængig af dette kan ydelsen/besparelsen fra PV-gavlen være rimelig (75 kWh/m²) eller direkte negativ. Derfor er rapportens resultater vigtige ved design af fremtidige anlæg af den undersøgte type.

6. Referencer

- Duffie, J.A. and Beckman, W.A., 1980. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons. New York. ISBN 0-47-05066-0.
- Jacoben, T.D, og Jensen. S.Ø., 2001. Solassisteret ventilation målinger på PVT-anlæg hos Roskilde Bank. SolEnergiCentret, Teknologisk Institut. ISBN 87-7756-631-9. www.buildvision.dk/pdf/solassisteret_ventilation_maalinger_paa_pvt_anlaeg_hos_roski lde_bank.pdf
- Jensen, S.Ø., 1999. Solskodde et bevægeligt solpanel. Termisk og funktionel evaluering. SolEnergiCenter Danmark, Teknologisk Institut. ISBN 87-7756-549-5. www.buildvision.dk/pdf/solskodde et bevægeligt_solpanel.pdf.
- Jensen, 2001. Results from measurements on the PV-VENT systems at Lundebjerg. Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute. SEC-R-14. ISBN 87-7756-611-0. www.buildvision.dk/pdf/results from measurements on the pvvent systems at lunde bjerg.pdf.
- Jensen, S.Ø. and Bosanac. M., 2002. Connectable solar air collectors. Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute. ISBN 87-7756-656-4. www.buildvision.dk/pdf/connectable solar air collectors.pdf.
- Jensen, S.Ø., 2003. Results from measurements on a roof integrated PV system with preheating of fresh air. Lauritz Sørensens Gård. Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute. ISBN 87-7756-704-8. www.buildvision.dk/pdf/results_from_measurements_on_a_roof_integrated_pv_system with_preheating_of_fresh_air.pdf.
- Nielsen, J.E., 1995. Brugervejledning til KVIKSOL et program til simulering af solvarmeanlæg. Version 5.2. Prøvestationen for Solenergi, DTI Energi.
- Olsen, H. 2003. Teknologisk Instituttet, Center for Proces og Ventilation. Personlig kontakt.

SBI, 1982. Vejrdata for VVS og energi – Dansk referenceår TRY. SBI rapport nr. 135.

Bilag A

PV-paneler

Solcellepanel type GS32p



Produktegenskaber

- ⇔ Høj effekttæthed
- C Produceres efter kundespecificerede mål
- Yderst velegnet til bygningsintegration med lynboks og 4 mm glastykkelse

Komponenter

- Serieforbundne polykrystallinske solceller
- ⇔ Forside: Hærdet jernfattigt glas med høj
- transmissionsevne i 4 mm tykkelse ⇔ Bagside: Sort Tedlar plastmateriale
- Lynboks i IP 65 klasse med hurtig serieel for-
- bindelse

Anvendelsesområder

Nettilsluttede systemer, oftest i integrerede solcellesystemer hvor solcellepanelerne er yderste klimaskærm

Tekniske specifikationer

Elektriske karakteristika (1)	GS30p	GS32p	GS34p	GS36p
Nominel effekt, Wp	30	32	34	36
Minimun garanteret effekt, W _p	27	29	31	33
Spænding				
• Peakspænding, U _p (V)	8,2	8,3	8,4	8,5
• Tomgangsspænding, Ut (V)	10,4	10,5	10,6	10,7
Strømstyrke				
• Peakstrøm, I _p (A)	3,65	3,85	4,05	4,25
• Kortslutningsstrøm, I _k (A)	4,1	4,4	4,7	5,0
Temperatur koefficient på Wt:	-0,4% /°C			
Dimensioner	$890 \times 485 \times 25 \text{ mm}$			
Vægt:	6 kg			

1. Målt ved standard betingelser (STC), 1000 W/m², AM 1.5 og 25 °C. Gaia Solar fremstiller solcellepaneler i henhold til ESTI 503

PV-panelerne på gavlen



Gaia Solar A/S · Hammerholmen 9-13, 1B · DK-2650 Hvidovre · Denmark · Tel. (+45) 36 77 79 76 · Fax (+45) 36 77 79 75 · A/S reg. No. 227 657



Tekniske specifikationer

Elektriske karakteristika (1)	GS61p	GS65p	GS69p	GS73p
Nominel effekt, Wp	61	65	69	73
Minimun garanteret effekt, W _p	55	59	62	66
Spænding				
• Peakspænding, U _p (V)	16,4	16,6	16,9	17,1
• Tomgangsspænding, Ut (V)	20,8	20,9	21,0	21,2
Strømstyrke				
• Peakstrøm, I _p (A)	3,7	3,9	4,1	4,25
• Kortslutningsstrøm, I _k (A)	4,1	4,4	4,6	4.9
Temperatur koefficient på W _t :	-0,4% /°C			
Dimensioner	$1017 \times 1000 \times 27 \text{ mm}$			
Vægt:	15 kg			

2. Målt ved standard betingelser (STC), 1000 W/m², AM 1.5 og 25 °C. Gaia Solar fremstiller solcellepaneler i henhold til ESTI 503

PV-panelerne på taget



Bilag B

Kobling af PV-paneler



Gaia Solar A/S · Hammerholmen 9-13, 1. · DK-2650 Hvidovre · Denmark · Tel. (+45) 36 77 79 76 · Fax (+45) 36 77 79 75 · A/S reg. No. 227 657

lkke i mål

Mål:

Ref .: CJ

16/9 2002

Dato:

DLAR

SO

 føres til parallelkoblingsboksl
Kabel fra panel til panel



Gaia Solar A/S · Hammerholmen 9-13, 1. · DK 2650 Hvidovre · Denmark · Tel. (+45) 36 77 79 76 · Fax (+45) 36 77 79 75 · A/S reg. No. 227 657